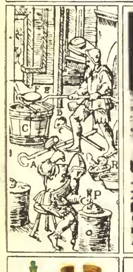
Т. Б. ЗДОРИК

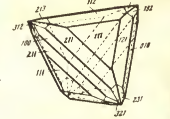
Здравствуй, камень!

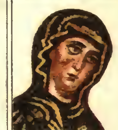


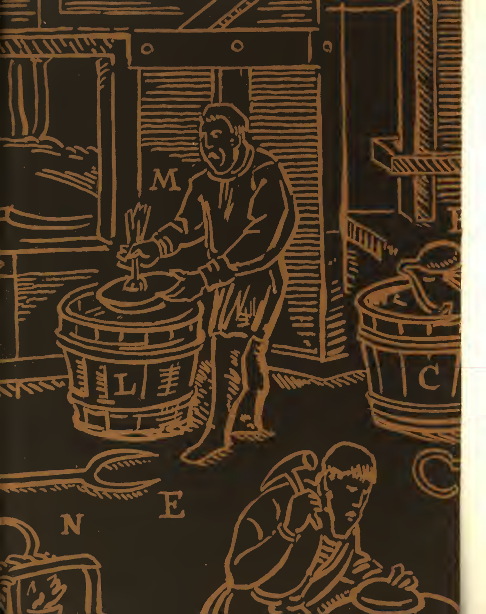






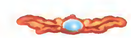





M
L
C
C
E
N

Т. Б. ЗДОРИК

Здравствуй, камень!





Москва • Недра • 1975

УДК 549

Здорик Т. Б. Здравствуй, камень! М., «Недра», 1975. 128 с.

Книга посвящена знакомству с миром минералов. В ней рассказывается об основных свойствах минералов в свете современных кристаллохимических представлений и об использовании минералов в качестве руд в процессе их освоения человеком.

Ил. 48, список лит. — 20 назв.

$3\frac{20805-596}{043(01)-75}90-75$

Татьяна Борисовна Здорик

ЗДРАВСТВУЙ, КАМЕНЬ!

Редактор издательства З. Д. Соломатина
Оформление художника А. Д. Смелякова
Заставки художника Э. Б. Первухина
Художественные редакторы В. В. Евдокимов
В. В. Быкова
Технический редактор В. В. Соколова
Корректор Л. М. Кауфман

Сдано в набор 26/III 1975 г. Подписано в печать 14/XI 1975 г.
Т—20109. Формат 70×108 1/32. Печ. л. 4,0. Усл. п. л. 5,6
Уч.-изд. л. 6,93. Тираж 66 000 экз. Заказ № 335/4811—4
Цена 51 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд д. 1/19.
Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул., Свободы, д. 97

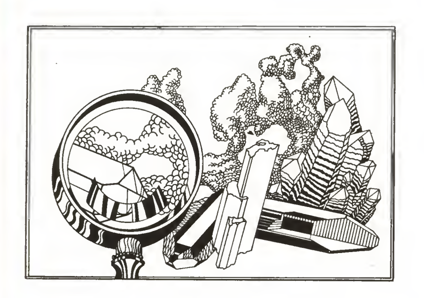
Что представляет собой увлекательный мир минералов? Как его изучают? По каким научным законам он живет и развивается? Откуда получили минералы свои таинственные звучные названия? Какие скрытые причины определяют поразительное разнообразие форм, окраски и блеска минералов? Каково значение минерального царства в хозяйственной деятельности человека? Наконец, как определять минералы в поле и по каким принципам составлять минералогические коллекции? На эти и многие другие вопросы, связанные с миром минералов, заинтересованный читатель получит ответ в книге «Здравствуй, камень!», на страницах которой ее автор кандидат геолого-минералогических наук Т. Б. Здорик ведет живой и непринужденный разговор о минералах и рудах. А красоту и облик камня передают прекрасные фотографии М. В. Мезенцева.

Доктор
геолого-минералогических наук,
профессор, лауреат Государственной премии СССР
А. И. Гинзбург

Камни живут. Нет ли противоречия в этих словах? Жизнь — это непрерывное движение, изменение, развитие, а камень — символ неподвижности, вечного покоя. Из камня воздвигают памятники на века. Из камня строят города — тоже на века. Веками переходили драгоценные камни из короны в корону, из статуи божества — в рукоять меча, из конской сбруи — в колье красавицы или просто в сейф очередного владыки. Ни смена династий, ни уход с арены истории целых народов не замутили их блеска, не изменили оттенка.

Казалось бы камни и впрямь вечны. Такими незыблемыми кажутся зимой ледяные покровы и снежные сугробы, но повысилась температура — и минералы лед и снег превращаются в стремительные потоки минерала воды. Также и камни. Минералы, из которых они состоят, устойчивы лишь при определенных температуре и давлении, при определенном составе окружающей их среды. Меняются условия — и разрушаются минералы, а химические элементы, эти вечные странники, перекочевывают в новые соединения, прочные и устойчивые, но... тоже лишь до поры до времени.

О жизни минералов, их свойствах, их причастности к жизни человека рассказывает эта книга.



ЗНАКОМСТВО, НАЧАВШЕЕСЯ В ПАЛЕОЛИТЕ

ЗДРАВСТВУЙ, КАМЕНЬ! КАК ТЕБЯ ЗОВУТ?

Знакомство обычно начинается с имени: бирюза, графит, алмаз, астрофиллит... Как возникли названия минералов? Что они означают? Кто и когда придумал их?

Не случайно название самой древней эпохи в истории человечества «палеолит» происходит от корня «лит» («литос» — камень). Это они — первые обработанные человеком камни — позволяют открыть книгу нашей истории. Но с тех далеких времен к нам не дошли названия первых освоенных людьми камней — обсидиана, кремня, нефрита.

Относительно слова «кремень», впрочем, можно высказать такое предположение. Известно, что название благородного опала (рис. 1) происходит от древнесанскритского слова «упала», означающего

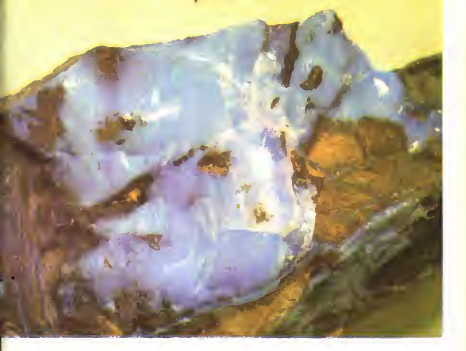


Рис. 1. Благородный опал

просто камень. Скорее всего, кремень и был тем самым распространенным и самым необходимым камнем древности, облик которого и послужил прообразом общего понятия «камень». А ведь опал — это не что иное, как чистая разновидность кремня, содержащая примесь воды.

От персидского слова «пируз» (одержавший победу, победитель, победа) пришло название одного из самых почитаемых в странах Востока камня — **бирюзы.** По восточным поверьям, бирюза образовалась из костей людей, погибших от любви, и приносит удачу в любви и делах, богатство и здоровье. С Ближнего Востока пришло слово «лазвард» («ладж вард» — голубой цвет) и название **лазурит.** Еще в древности из него приготовляли необычайно глубокие по цвету

и стойкие краски, дошедшие до нас с немеркнущих лазурных небес персидских миниатюр. В Египте лазурит почитался священным. Шесть крупных, с голубиное яйцо, густо-синих жуков-скарабеев из резного лазурита украшают пектораль* фараона Тутанхамона.

Древнеарабское слово «циннобар» (кровь дракона) звучит в названии ярко-красной **киноварн**, напоминая о том, что красные камни наделялись в древности колдовской силой. С Востока камни шли на рынки Египта и Греции, и санскритское слово «мараката» зазвучало по-гречески «змарагдос», «смарагд», а позднее — **изумруд.**

Гармоничный мир древних греков, наивно и поэтично ощущавших единство вселенной, был населен множеством существ, легко и непринужденно менявших облик: люди и боги превращались в растения, животных, камни. Имена героев греческих мифов нередко переходили в названия минералов. Золотисто-красный **гиацннт** носит имя юного музыканта Гиацинта. Он дерзнул состязаться с Аполлоном (а ревнивые боги не допускали этого!), и минерал гиацинт — это превращенные в камни капли крови погибшего юноши, а кудрявые весенние цветы гиацинты — его волосы.

В нежный прозрачно-лиловый **аметнст**(по-гречески «аметистос» — не пьяный) превратила богиня охоты Диана свою нимфу, чтобы спасти ее от преследований разгулявшегося во хмелю бога виноградарей Вакха. И многие века люди верили, что аметист дарует трезвость на пирах, рассудительность в делах, удачу в охоте.

В старинном русском лечебнике об аметисте сказано так: «Сила этого камня такова: пьянство отгоняет, мысли лихие удаляет, добрым разум делает и во всяких делах помощен. Аще кто этого камня изопьет, то неплодного плодным делает и окорм гасит, воинских людей от недугов оберегает и ко одолению приводит, и к ловлению зверей диких и птиц добре есть помощен. Аметист ускромляет мощность и не допускает того, кто его носит, в памяти отходить».

Магнетит (магнитный железняк), по преданию, получил имя в честь нашедшего его пастуха Магнуса. Пас однажды Магнус овец в горах Фессалии и вдруг словно прирос к земле: не поднять ноги в тяжелых, подбитых железом башмаках, не оторвать от земли посох

* Пектораль — нагрудиое ритуальиое украшеиие

с железным наконечником — притянула его гора. Так был найден чудесный минерал, притягивающий железо.

Ученые античного мира первые попытались дать систематическое описание известных им минералов — название при этом обычно связывалось с обликом камней. **Гематит**(по-гречески «айма» — кровь) назвал Теофраст темно-красный с серым отливом минерал железа и написал о нем, что минерал «... кажется образованным из свернувшейся крови». **Аурипигмент** («золотой цвет») — это очень точное название блестящему слюдоподобному соединению мышьяка с серой дал римский ученый Плиний Старший.

Традиция античных ученых называть минералы (на основе греческих и латинских корней) по их характернейшим свойствам — цвету, блеску, твердости, форме и даже запаху — сохранилась на долгие века. **Карнеол**(от латинского «карнес» — мясо) действительно мясо-красный, **рубин** — красный, **альбит** — белый, **целестин** — небесно-голубой, а **кианит** — васильковый. От греческих корней образованы названия **родонит, родохрозит** («родон» — роза, «хронос» — цвет), **лейцит, лейкофан** («лейкос» — светлый), **хлорит** («хлорос» — зеленый).

Несравненный **алмаз** — это измененное греческое «адамант» — неодолимый. В одной из старинных арабских книг по минералогии приводится даже такое изречение: «У какой из двух воюющих сторон будет тяжеловесней алмаз, та сторона победит, а правду знает лишь бог!». Не удивительно, что именно алмаз украшал шлем Карла Смелого и рукоять шпаги Наполеона Бонапарта.

Гиперстен — значит очень крепкий, **авгит** — блестящий. А такие названия, как **хондродит** («хондрос» — зерно, крупинка), **гроссуляр** («гроссула» — крыжовник), **каламин** («каламус» — тростник), **ставролит** («ставрос» — крест) (рис. 2), **аксинит** («аксе» — топор), **скаполит** («скапос» — столб), **сфен** («сфенос» — клин), **астрофиллит** («астрос» — звезда и «филлос» — лист), **актинолит**(«актинос» — луч и «литос» — камень), очень метко характеризуют форму выделения минералов. **Ортоклаз** действительно колется прямо («орто»), а **плагиоклаз** — косо («плагио»). **Скородит**, раскалываясь, припахивает чесноком («скородон» — чеснок). Прозрачный искристый **криолит** (ледяной камень) почти не отличим от льда. **Графит** пишет («графо» — писать). Вера



Рис. **2**. *Двойник ставролита*

в лечебные силы камня звучит в греческих названиях **яшмы** — яспис («яис» — исцеляю) и **нефрита** («нефрос» — почки).

Традиция использовать в основе названия греческие и латинские корни была так сильна, что уже в XIX веке минералоги и химики, долго промучившись с определением состава одного из минералов, назвали его **энстатит** («энстатес» — противник). Состав другого минерала они к своему стыду не сумели определить, и шведский ученый И. Я. Берцелиус так и назвал его **эшинит** («эсхине» — стыд). **Нефелин** («нефелла» — облако), разлагаясь в кислотах, образует обычно студнеобразный кремнезем.

Даже опытный минералог не всегда отличит от кварца хитрый минерал бериллия **фенакит** («фенакис» — обманщик), еще хитрее ведет себя **апатит** («апатео» — обманываю) — он то зеленовато-голу-

бой, почти неотличимый от берилла, то ярко-желтый, как сфен, то лиловый, как флюорит, то прозрачный и бесцветный, как кварц, — сплошной обман.

Кастор и Поллукс — неразлучные и неразличимые близнецы-аргонавты. Профессор А. Брейтгаупт дал эти имена двум очень схожим и часто неразлучным минералам из пегматитов острова Эльбы: если вам попадется белый полупрозрачный силикат лития — **касторит**, ищите его более редкого цезиевого близнеца по имени **поллуцит.**

В старинных русских названиях самоцветов также отражены их свойства. Собственно «самоцветом» (вернее «самосветом») назывался в старину только алмаз за свойство излучать в темноте свет после легкого нагревания. Тяжелый топаз до сих пор на Урале зовут «тяжеловесом», эвклаз — «хрупиком», а халцедон с переливчатым шелковистым блеском — «перелифтом».

Античные ученые оставили нам и другую традицию — называть минералы по месту их находки. **Агат** назван по маленькой сицилийской речке Агатес, с красивыми полосатыми галечками на пляжах. **Купрум** (по-латински медь) произошло от острова Кипр, где уже в III веке до н. э. существовали медные рудники. **Касситерит** — оловянный камень — получил название по туманным островам Касситеридам (греческое название Британских островов). А минерал **мусковит** назван в средние века по городу Муска — так называли нашу Москву итальянцы. Решетчатые оконницы московских теремов блестели в те времена прозрачной, чуть коричневатой слюдой — мусковитом.

Не трудно угадать, где найдены такие минералы, как везувиан, лабрадор, нигерит, бразилианит, уралолит, ильменит (Ильменские горы на Урале), арагонит (провинция Арагон в Испании).

А вот другая страничка в истории минералов: в XIV—XVI веках множество названий внесли в минералогию саксонские горняки из Рудных гор. Во многих названиях этой поры слышатся отклики веры в таинственные колдовские силы, населяющие горы. Название **вольфрамит** возникло от слова «вольф-рам» — волчья пена. Конечно, это волк — «оборотень» заколдовал оловянную руду и в плавильных печах она покрылась густой желтой пеной (если вместе с оловянной рудой в печь попадал минерал вольфрамит). Горщики говорили о

вольфрамите: «Он похищает олово и пожирает его, как волк овцу». Они верили, что горные гномы («кобольды») улетали при обжиге, унося руды с дымом, когда в них встречался минерал кобальта — **кобальтин**. «Купфер никель» — дьявольская руда!* — ругали «медную» руду, если не могли выплавить из нее металл. На самом деле эти руды только внешне своим красноватым оттенком похожи на медные, а в действительности содержали минерал **никелин**.

Начиная с конца XVIII века и особенно в XIX веке возникла новая традиция — называть минералы в честь людей. Сначала это были вельможи, способствовавшие развитию горного дела: в честь графа Перовского был назван минерал **перовскит**, князя Волконского — **волконскоит**, министра Уварова — **уваровит**, царя Александра II — **александрит**. Позднее это были ученые: Линней — **линнеит**, Гаюи — **гаюин**, Гете — **гетит**, Доломье — **доломит**, Авиценна — **авиценнит**, Кюри-Склодовская — **кюрит** и **склодовскит**, Гадолин — **гадолинит**, Ферсман — **ферсмит** и **ферсманит**, Вернадский — **вернадскит**, Ландау — **ландаунт** и др.

Есть даже минералы, названные в честь геологических учреждений, где они были определены и изучены: **нимит** — в честь Национального института минералогии Южной Африки, **вимсит** — в честь Всесоюзного института минерального сырья (ВИМС), **амакинит** — в честь Амакинской экспедиции, **имгреит** — в честь Института минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов. Можно встретить названия минералов и в честь знаменитых летчиков и космонавтов — **чкаловит, гагаринит** (рис. 3), **комаровит, армстронгит.** А лунный минерал **армалколит** получил свое название по фамилиям трех американских космонавтов, впервые достигших Луны. Армстронга, Олдрина и Коллинса.

Но есть у минералогов еще одна традиция (простая и очень деловая!) — называть минералы по их составу. **Уранинит** — минерал содержит уран, **торианит** — торий, **висмутин** — висмут, **молибденит** — молибден, **галенит** — свинец (по-латыни «галена»).

Мне пока посчастливилось открыть только один новый минерал, правда, очень красивый. Сначала хотелось назвать его по месту

* «Купфер» — по-немецки медь, «никель» — горный черт, дьявол



Рис. **3**. *Гагаринит*

находки. Вспомнились красивые названия якутских гор и рек — Сетте-Дабан, Аллах-Юнь, Юдома. Но после некоторых колебаний, подумав о студентах-минералогах и об экзамене по минералогии, я назвала его **кальциртит** (кальций, цирконий и титан составляют основу состава минерала). Пусть это не очень красиво, но зато легче запомнить.

ОТКУДА ЦВЕТ В САМОЦВЕТЕ?

Золотые, алые, голубые змейки бегут по воде, переливаясь, как самоцветы. Но вода отражает краски неба, небу отдает их заходящее солнце, а самоцветы — сами цветные! Радуга минералов-самоцветов не уступает небесной ни по сочности цветов, ни по богатству оттенков.



Рис. **4**. *Кристаллы турмалина — сибирита*

Представьте себе такую их цветовую гамму. Слева самый бледный, слегка розовый берилл — воробьевит, розовый оттенок в нем только намечается, он словно рождается на наших глазах из теплой прозрачности кристаллов. Рядом кунцит — сподумен чистого розового, чуть холодноватого цвета; он боится солнца, и в музеях его держат даже под черным колпаком. Розовое с серым, розовое с черным, то бледное, то почти малиновое — излюбленные сочетания испанского художника Гойи, — это цвета уральского камня орлеца — родонита. Ярко цветет розовое в лучистых сростках эритрина, дрожит каплями «лопарской крови» (эвдиалита) в серых скалах Хибинских тундр, радует желанным сердоликом в мокрой гальке бухт Коктебеля. Постепенно цвет наливается яркостью в турмалинах — от цвета лепестка шиповника в рубеллитах до густого цвета красного вина в сибиритах (рис. 4).



Рис. **5**. *Крокоит*

Дальше киноварь — краска рукописей, горящая веками в буквицах каждой красной строки. Нет ярче красного камня, чем знаменитый цейлонский рубин, темно-алый и прозрачный; с ним пытается соперничать лишь «лал» — благородная шпинель Памира. Однако по насыщенности и теплоте цвета эти драгоценные камни уступают давно известным богемским гранатам. Цвет красной серебряной руды — прустита и пираргирита — цвет огня под пеплом: красное словно пробивается сквозь серый металл. Еще глуше, темнее цвет гематита — цвет запекшейся крови.

Но вот снова пробежал по радуге огонь — как угольки в костре светятся оранжево-красные кристаллы крокоита (рис. 5), как само пламя — огненный опал. Ясный, чистый оранжевый цвет у минерала мышьяка — реальгара; обычно он встречается вместе с другим мышьяковым минералом — блестящим, как золотая слюда, оранжево-желтым аурипигментом. Прозрачные винно-желтые топазы и бледно-золотистые бериллы — гелиодоры — самые красивые из желтых камней. Но «королева желтизны», конечно, самородная сера — в ней вся сила этого солнечного цвета (рис. 6).



Рис. 6. Кристалл серы

Веселый зеленый огонек теплится в золотисто-желтом хризолите, фисташковый оттенок у минералов эпидота и пироморфита (рис. 7), а цвет крыжовника — ягода зеленее, ягода желтее — у граненых шариков граната — гроссуляра. Цвет яблочной мякоти — цвет хризопраза, цвет весенней травы — в зелени эгирина, а в затейливом рисунчатом малахите, в темно-зеленом нефрите живет насыщенная зелень летней листвы. И самый зеленый, самый радостный камень на свете — изумруд (рис. 8). Его и сравнить не с чем — все самое зеленое хочется сравнивать с ним! Незаметными переходами связаны зеленые камни с голубыми и синими: доля синевы появляется в едко-зеленом диоптазе, еще больше в шелковистом голубом асбесте, в аквамарине (морская вода), в уральском топазе (рис. 9), в бирюзе. Всеми тонами неба сияет лазурит— от полуденной лазури до густой ночной синевы (даже «звезды» в нем— блестки кристалликов пирита). Холодной «зимней» синевой сияет сапфир, а в васильковом содалите уже намечается иногда фиолетовый оттенок.

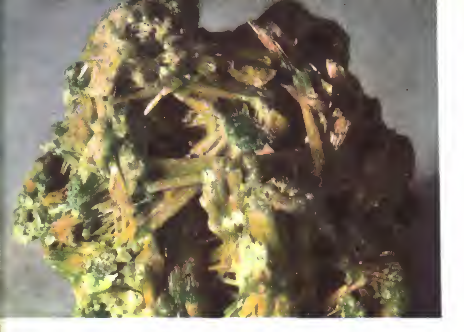


Рис. 7. Пироморфит

Аметисты то бледно-сиреневые, то темно-лиловые (рис. 10); фиолетовый, почти до черного флюорит — вот и исчерпаны цвета радуги, но не минералов! Дымчатые серо-коричневые раухтопазы (рис. 11), золотисто-бурые цирконы, смоляно-желтый янтарь, рисунчатые агаты (рис. 12), переливчатый «тигровый глаз» (рис. 13), коричневые турмалины — дравиты. А все оттенки черного и белого!

В чем же причина такого фантастического разнообразия? Почему «белый» солнечный луч, падая на минералы, окрашивает их так по-разному? Поисками ответа на этот вопрос занимались и занимаются ученые всего мира — минералоги, химики, физики*. Чтобы

* Причины окраски минералов рассмотрены в работах советских ученых: А. Е. Ферсмана, В. И. Вернадского, Г. П. Барсанова, А. С. Марфунина и др.

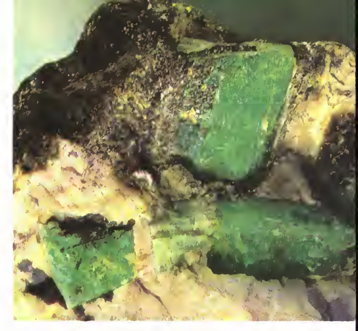


Рис. **8**. *Изумруд*

приблизиться к пониманию окраски минералов, нам придется совершить посильный экскурс в область физики и кристаллохимии.

В мировом океане электромагнитных колебаний видимый нами свет — лишь узкая полоска спектра: волны длиной от 3800 ангстрем (фиолетовый цвет) до 7600 ангстрем (красный цвет). Более короткие ультрафиолетовые волны (3600—510 ангстрем) различают лишь фасеточные глаза насекомых, а еще более короткие — рентгеновы и γ-лучи «чувствует» лишь эмульсия фотопленки. Инфракрасные (7600—30 000 ангстрем) волны мы ощущаем как тепло. На длинных волнах работают локаторы и мазеры и, наконец, самые длинноволновые электромагнитные колебания — радиоволны (10^7—10^{13} ангстрем).

Потоки лучистой энергии солнца падают на большие и малые

Рис. 9. Топаз

Рис. 10. Друза аметиста

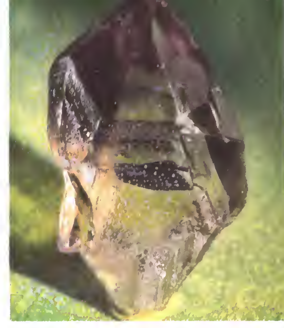


Рис. 11. Дымчатый кварц (раухтопаз)

предметы Земли, падают и на минералы. Как реагируют минералы на свет? Это зависит от их строения и состава.

Несколько слов о строении минералов. Нейтральные атомы некоторых элементов (таких, как кислород, сера, фтор и др.), входя в состав минерала, вырывают наиболее подвижные «валентные» электроны у своих соседей и превращаются в отрицательные ионы — анионы, а покладистые соседи, упустившие эти электроны, становятся положительными ионами — катионами. Электрические силы притяжения между заряженными частицами и удерживают в равновесии ионные постройки — кристаллические решетки минералов. Бесконечно разнообразны пространственные комбинации ионов или их группировок (тетраэдров, октаэдров и др.): то это великолепные идеально прочные каркасы (например, кварц), то объемы их выполня-

ются цепочками (асбест), колоннами ионов (берилл), или целыми «панелями» — слоями (слюды).

Окраска минералов во многом зависит от архитектуры их кристаллической решетки. Наиболее симметричные и прочные сооружения свет пронизывает, не изменяясь и ничего не меняя в них. Таковы бесцветные и прозрачные кубики поваренной соли, ромбоэдры оптического кальцита, шестигранные таблички бесцветного берилла — ростерита или всем известные кристаллы горного хрусталя. Кристаллы прозрачны и бесцветны, если решетки их идеально симметричны, если слагающие эти решетки ионы также идеально симметричны и не склонны к перестройке, если...

Достаточно опустить хоть одно «если» — и появляется цвет — невоспроизводимая прелесть, бесконечная «игра» природы! А если сами ионы, из которых «строится» решетка минерала, не совсем правильны, не совсем симметричны? Из классической химии известно, что атомы большинства элементов таблицы Менделеева по мере увеличения атомного веса наращивают внешние электронные уровни. Однако есть элементы так называемые «переходные», нарушающие это правило: в них формируются, «достраиваются» не внешние, а более глубокие электронные оболочки. Сами по себе электроны внутренних уровней не могут перескочить на внешние, как не взлетит

Рис. **12**. *Агат*



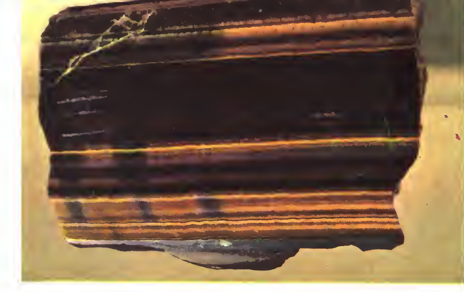


Рис. **13**. *«Тигровый глаз»*

с земли камень. Но свет — энергия, и, поглотив часть энергии падающего света, электроны перескакивают или, как говорят, «возбуждаются». Из кристалла выходит уже не полный спектр лучей, а лишь его оставшаяся «дополнительная» часть, она-то и окрашивает минерал.

Таким элементам, способным к перестройке электронных слоев за счёт энергии поглощенного света, мы и обязаны главным образом красочностью минерального мира. Они так и называются «хромофоры» — несущие цвет. К ним относятся титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, свинец, уран, редкоземельные элементы. Каждый из элементов-хромофоров поглощает свет по-разному. Индивидуальный характер поглощения света можно передать графически с помощью кривой спектра поглощения, которая получится, если по горизонтальной оси отложить длину волн разного цвета, а по вертикальной — силу, интенсивность, с которой поглощает их минерал (рис. 14, III). На кривой поглощения видно, какие

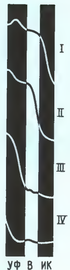


Рис. **14.** *Типы оптических спектров окрашенных минералов.*

По А. С. Марфунину (с некоторым упрощением). УФ — ультрафиолетовая область. В — область видимого света. ИК — инфракрасная область

лучи поглощаются сильнее всего и, значит, не входят в окраску, а для каких минерал прозрачен. Так, на кривой поглощения малахита красные лучи поглощаются им максимально, т. е. гасятся, а зеленые — проходят почти полностью.

Минералы, в которых элементы-хромофоры играют важную роль, имеют обычно яркие интенсивные и постоянные цвета — оранжевый крокоит и зеленый гранат — уваровит окрашены ионами хрома в разных валентных состояниях, бирюза — медью, родонит — марганцем, эритрин — кобальтом, аннабергит и гарниерит — никелем. Но элемент-хромофор не всегда преобладает в минерале: нередко он забирается «в гости», вытесняя хозяев из узлов кристаллической решетки или заполняя в этой решетке «дырки» — вакантные места, и бесцветный кристалл становится ярким самоцветом. Например, примесь 1,5% окислов железа вместо алюминия сообщает бериллу окраску аквамарина или гелиодора, 0,3—0,4% окиси хрома превращают этот же минерал в драгоценный изумруд, а всего только тысячные доли процента марганца — в розовый воробьевит. Незначитель-

ная примесь окиси хрома окрашивает рубин, примесь марганца — турмалин-рубеллит. Удивительны полихромные кристаллы турмалина: один конец кристалла, окрашенный марганцем, — розовый, а другой, окрашенный железом, — зеленый; очевидно, состав примеси в минерале сменился уже во время роста кристалла.

Но внимательный читатель, вероятно, заметил, что хром, например, может окрашивать минерал и в красный цвет (рубин), и в зеленый (изумруд), а железо — в зеленый, синий, коричневый. А как же кривые поглощения? Нет ли здесь ошибки? Нет, все верно! Элемент-хромофор определяет только характер кривой, ее форму, т. е. последовательность изменения интенсивности поглощения световых волн, а на какой отрезок видимого спектра наложится кривая, т. е. какой будет цвет при одном и том же хромофоре — это зависит от структуры самого минерала.

Вот, скажем, хром: плотные структуры с сильным электромагнитным полем «расшатать» очень трудно — для этого требуются «энергичные» сине-зеленые волны, и более «плотные» минералы (рубины, гранаты) пропускают лишь красную волну, а у более «рыхлых» (изумруд) поглощается малоэнергичная красная часть спектра, а зеленые волны проходят сквозь кристалл беспрепятственно.

Но есть удивительный минерал — александрит. Его тоже окрашивают главным образом ионы хрома, да так хитро, что при солнечном свете он ярко-зеленый, а при электрическом — красный. В чем же здесь загадка? Окраска александрита создается и красными, и зелеными лучами, он прозрачен для тех и других: в дневном спектре сине-зеленые «энергичные» лучи как бы «забивают» красные, а в спектре лампы накаливания (электролампочки) их очень мало — преобладают красные!

Итак, элементы-хромофоры (титан, ванадий, хром, железо и др.) — главные живописцы минерального мира. Да только ли минерального? Ион трехвалентного железа окрашивает и нашу кровь и минерал кровавик: он входит и в кристаллическую решетку минерала, и в молекулу гемоглобина. Есть, значит, и среди камней наши «кровные» родственники!

Как мы видели, не только проценты, но и сотые, и даже тысячные доли процента хромофора способны ярко окрашивать минералы.

Эти цветные минералы могут образовывать точечные включения, тонкие вростки в других минералах, прозрачных или полупрозрачных, и тогда возникают новые тона и полутона, новые замечательные самоцветы. Взять хотя бы семейство кварца и его ближайших «родственников» — халцедона и опала. Вот агат-моховик; если всмотреться в него пристально, в мглистой глубине видятся дремучие заросли не то мха, не то каких-то непонятных веточек или водорослей. Нет, это не растения, это ветвящиеся кристаллические сростки — дендриты зеленого хлорита в халцедоне. Тонкие струйки окислов железа и марганца, рыжие, бурые, черно-зеленые, вырисовывают в халцедоновой дымке целые города с домами, мостами, колокольнями — это руинный агат. Есть агаты, похожие на глаза лошади или оленя, — черно-коричневая округлая сердцевина камня окаймлена голубым, как глазной белок, халцедоном; включения располагаются здесь концентрическими кольцами. Мясо-красные карнеолы и густо-розовые сердолики — излюбленные камни чеканных украшений Востока — тоже окрашены мельчайшими включениями окислов железа. А вот цвет халцедона-хризопраза — свежий, как цвет весеннего огурца, обусловлен окислами никеля.

Иногда включения хорошо видны простым глазом. Золотистые чешуйки слюды (или железной слюдки) наполняют мерцанием праздничный, но несколько мишурный камень — авантюрин. В зеленых кварцах — авантюринах различимы волоконца амфибола, листочки зеленой слюдки. Удивительные черные иглы и золотистые нити рутила пронизывают иногда кристаллы кварца. На Востоке этому камню не было цены: считалось, что в нем заключены волоски из бороды пророка! Иногда их образно называют волосы Венеры, стрелы Амура или просто кварц-волосатик. А прозрачный индигово-синий кварц с Урала потребовал вмешательства оптики — только с двухсоткратным увеличением разглядела в кварце В. А. Корнетова тоненькие призмочки турмалина-индиголита — виновника синей окраски. Независимо от цвета, халцедоны и опалы в отличие от кварца всегда несколько туманны, облачны: слагающие их тонкие волоконца — кристаллиты сильно рассеивают цвет.

А что можно сказать о молочно-белом кварце? Его окраска сродни окраске молока — она также зависит от бесчисленных пузырьков,

только в молоке это капельки жира, а в молочном кварце — включения воды или газа. Подобные включения придают яркий цвет и огненному опалу, только жидкость в них окрашена окислами железа; полежав на солнце, минерал вдруг коварно мутнеет, белеет, как чай с молоком, — влага в пузырьках испарилась.

А благородный опал? Этот таинственный мерцающий самоцвет?

Тут другое дело! Долгие годы ученые бились над загадкой опала. Секрет его «прихотливого мерцания» открыт совсем недавно: оказалось, что все опалы сложены совершенно круглыми шариками (глобулями), капельками аморфного кремнезема. Но если у обычного опала размер этих шариков сильно варьирует, и расположены они как попало — с большими промежутками, пропускающими и рассеивающими лучи света*, то у благородных опалов глобули одинаковы и уложены самым плотным образом, как в модели кристалла или в коробке для тенисных мячей. Свет, проходя сквозь опал, пронизывает шарики слой за слоем, дробится в них, многократно преломляясь и отражаясь, разлагаясь на цвета спектра. Поэтому опалесценция в благородных опалах сопровождается неожиданными переливами радужных цветов.

Белый свет при этом дробится на цветные лучики: в одном участочке кристалла толщина слоя кратна длине зеленой волны, в другом — красной или синей. Чуть повернешь камень — изменится угол падения света на слои, а значит, изменится и цвет — радужные искры загораются и гаснут, минерал мерцает! Примерно так же объясняется и «игра» жемчуга. «Там, где радуга коснется морской глади — рождается жемчуг» — так гласит восточная легенда. Но в современной минералогии «игра жемчуга» объясняется тем, что свет, многократно преломляясь, отражаясь и рассеиваясь, проходит через многочисленные концентрические оболочки арагонита и хитина, слагающие жемчужины.

* Явленне рассеяння света в опале, связанное с многократным отраженнем лучей света от глобулей кремнезема, получило названне опалесценцнн.



Рис. **15**. *Лабрадор*

Среди бесконечного разнообразия самоцветов есть особые камни, их неожиданная красота открывается как бы вдруг, при нечаянном повороте. Повернешь неприметный серый кристалл лабрадора, и ярко-синие, малиновые, золотисто-зеленые сполохи охватывают камень (рис. 15). А полевой шпат с названием лунный камень отсвечивает нежно-голубым. Родившись в огненной магме или в горячих растворах, эти минералы при остывании распадаются на бессчетные параллельные пластинки полевых шпатов несколько отличного состава (они «видны» только при громадных увеличениях электронного микроскопа). Луч падает на стопки тончайших прозрачных пластинок с разными показателями преломления. При повороте возникает соответствие определенной цветовой волне и вспыхивает резкий цветной блик — обычно синий или малиновый.

А вот еще одно из несметных чудес «малахитовой шкатулки». В нефелиновых сиенитах Сетте-Дабана (Якутия) встречаются тонкие прожилки, зеленовато-серые, как якутский мох ягель. Ударьте молот-

ком — и на свежем сколе, как брусника на ягеле, выступит ярко-розовая окраска и тут же на глазах поблекнет и исчезнет, словно впитавшись в камень. Еще удар — и снова то же чудо. Так «наглядно» проявляет себя, пожалуй, только минерал гакманит, хотя минералов, меняющих окраску от действия световых или рентгеновых лучей, тепла или радиации — словом, при получении любой добавочной энергии, не так уж мало. Это минералы, в ионных кристаллических решетках которых есть неправильности, дефекты — «дырки». Скажем, в каком-то узле решетки возник избыток или недостаток электронов, какая-то часть ионов переместилась из узлов решетки в промежутки между ними, а в узле образовалась пустота — вакантное место, «дырка». Как же «дырка» может влиять на цвет?



Рис. **16**. *Люминесценция синтетического флюорита*

Природа вечно стремится к совершенству, к устранению любых дефектов. Так и кристаллы стараются «залатать дырки» в своей решетке. Поглотив часть световой энергии, ионы решетки приходят в возбуждение: их электроны соскакивают со своих «законных» орбит (электронных уровней) и захватываются «дырками», как ловушками. Поглощаются при этом, как правило, лучи, близкие тепловым, т. е. красные и оранжевые, а сами минералы окрашиваются соответственно в синие и фиолетовые цвета. Таков цвет содалита, синего галита (каменной соли); близка и природа окраски дымчатого кварца — мориона. Дефектами решетки определяется и нежно-розовая, блекнущая на солнце, окраска кунцита (см. рис. 46) и, конечно, окраска «чудесного» гакманита.

Эти минералы имеют и еще одну особенность — электроны, попавшие в «дырки» решетки, обычно закрепляются там непрочно, они легко возвращаются на привычные места, на положенные электрон-

ные уровни. При этом они возвращают и захваченную энергию, испуская световые лучи — минерал светится, люминесцирует (рис. 16).

А с чем связана окраска непрозрачных минералов? Вспомним хотя бы цвета золота, серебра или меди. Чтобы понять их природу, нужно сделать еще шаг в глубь вещества — от структуры кристаллических решеток к электронному строению кристаллов.

Согласно современной квантово-механической модели электронного строения кристаллов (так называемой зонной теории), электроны в кристаллах распределены неравномерно: они сконцентрированы в пределах особых «валентных» зон и совершенно отсутствуют в «запрещенных» зонах. Кроме того существуют еще зоны «проводимости», где электроны не занимают постоянных мест, как в валентной зоне, а могут свободно перемещаться. Процесс перехода из валентной зоны в зону проводимости идет с поглощением энергии, причем с увеличением расстояния между зонами (а это уже зависит от структуры кристалла), требуется больше энергии для такого перехода. Мы опять сталкиваемся с зависимостью энергии (а следовательно, и длины световой волны) от структуры кристаллической решетки. Но если в прозрачных минералах окраска определяется главным образом светом, прошедшим через кристалл, а область собственного поглощения лежит за пределами полосы видимого света (обычно в ультрафиолетовой области), то у непрозрачных минералов широкая полоса собственного поглощения (и соответствующий ему спектр отражения) перекрывает всю видимую область спектра (см. рис. 14, I).

Оптические спектры непрозрачных минералов в видимой области лишены резких пиков и имеют вид пологих или слабо изогнутых кривых. В зависимости от формы и наклона кривой отражения в видимом диапазоне могут наблюдаться два основных цвета непрозрачных минералов (или, как говорят, две главные окраски зеркального отражения): белый (при малой величине отражательной способности — серый до черного) и желтый; реже появляются красноватые тона. Непрозрачные минералы белого цвета иногда в зависимости от наклона кривой отражения приобретают характерные цветовые оттенки: голубоватый или розоватый.

К этой группе принадлежит большинство рудных минералов: все самородные металлы, основная масса сульфидов и очень многие

окислы. Все минералы, которым присущи окраски зеркального отражения, отличаются металлическим (реже полуметаллическим) блеском. Характерными примерами могут служить такие минералы: галенит (свинцовый блеск) — белый с голубоватым оттенком, кобальтин (кобальтовый блеск) — серый с розоватым оттенком, пирит, халькопирит, пирротин (желтые разных оттенков), никелин (красноватый), самородные серебро, платина, золото, медь и др.

Окраска некоторых полупрозрачных минералов, обычно имеющих алмазный блеск, связана с попаданием края спектра собственного поглощения в видимую область спектра (см рис. 14, II): максимум поглощения у этих минералов смещается в ультрафиолетовую область, и спектр собственного поглощения перекрывает уже не всю видимую полосу, а лишь ту ее часть, которая примыкает к ультрафиолетовой области. Иными словами, в зависимости от ширины края поглощения в той или иной части видимого спектра у минералов данной группы появляются яркие и чистые «теплые» желтые, оранжевые, красные цвета. Этот случай встречается в природе сравнительно редко: гринокит, аурипигмент и самородная сера — желтые окраски; киноварь, реальгар, красные серебряные руды и куприт — оранжевые и красные окраски. Таким образом, эти окраски определяются не хромофорами, а структурой минерала.

«Поверив алгеброй гармонию», познав многие законы цветных камней, человек успешно пытается воссоздать их в лаборатории. Искусственные рубины, изумруды, аметисты подчиняются тем же законам, что и природные. Несправедливо и обидно называть их фальшивыми камнями. К ним больше подходит слово «синтез» — синтетические. Впрочем, даже послушно следуя природе, мы не можем полностью воспроизвести ее творения. Синтетические камни ярки и красивы, но им не хватает одного — жизни.

И последнее. Как ни пытаешься передать словами цвет минерала, самое ценное остается за строкой. Есть только один выход. Люди, которых тронула красота камня, непременно должны посетить минералогические музеи, они есть в разных городах Советского Союза: имени А. Е. Ферсмана в Москве, музей Горного института в Ленинграде, Горный музей в Свердловске, музеи в Алма-Ате, Усть-Каменогорске, на многих рудниках, шахтах и копях.

Солнечный свет словно сеется сквозь сита кристаллических решеток минералов, пропускающих определенную часть спектра, по которой мы можем отличать густую насыщенную зелень изумруда от светящейся «золотой» зелени хризолита или едкой зелени диоптаза.

У трио свет — минерал — глаз есть и другая игра — блеск! Ведь не весь свет солнца попадает внутрь минерала — часть его отбрасывается поверхностью кристалла. Это и есть блеск. Блеск тоже бывает различный. «Блеск минерала не зависит от его цвета» — гласят учебники минералогии. Но попробуем отрешиться от цвета. Есть столько прекрасных минералов, совершенство которых передается одним чистым блеском: алмазы и горный хрусталь; соль и лед; оптический исландский шпат и гипс; своеобразный матово-белый халцедон— кахалонг, отличающийся восковым блеском. И, наконец, эталон отсутствия блеска — матовый школьный мел, поры («ловушки») которого гасят всякий блеск.

В немой и мрачноватой толще темно-серых песчаников и сланцев Крыма, красиво именуемой «таврикой», сверкают мелкие идеально-прозрачные шестигранные пирамидки горного хрусталя. В безотрадной «таврике» они кажутся просто бриллиантами. Впрочем в чешских Карпатах подобные кристаллики так и называются «родопские диаманты». Но положите подобный «диамант» рядом с истинным бриллиантом и ваши сомнения исчезнут — настолько меркнет **стеклянный** (рис. 17) блеск горного хрусталя рядом с **алмазным***.

А вот свежий осколок прозрачной поваренной соли можно было бы спутать с кварцем, но через несколько часов, его поверхность, впитав влагу воздуха, словно подернется маслянистой пленкой, и блеск из стеклянного превратится в **жирный.**

Прозрачные ромбоэдры исландского шпата и пластинчатые кристаллы гипса на плоскостях спайности часто отливают перламутром.

* Секрет очарования бесцветных прозрачных кристаллов в их «игре» — спектрально-чистых ярких искрах, «вспыхивающих» при повороте кристалла. Это явление связано с разложением белого цвета на компоненты спектра: лучи с разной длиной волны преломляются по-разному — чем выше показатель преломления, тем дальше расходятся цветные лучи друг от друга, тем сильнее и игра кристалла.



Рис. **17**. *Ювелирный сподумен* (*стеклянный блеск*)

Перламутровый блеск порождает интерференция света, отражающегося не только от поверхности кристалла, но и от внутренних плоскостей спайности. Случается, что гипс заполняет трещины в породе в виде параллельно-волокнистой массы с **шелковистым** блеском, подобным блеску мотка шелковых нитей. Какой же будет у минерала блеск — стеклянный, алмазный, металлический или полуметаллический? Исследования минералогов показали, что блеск зависит от соотношения отраженного и поглощенного света, а это соотношение непосредственно связано с показателем преломления. Наблюдается почти прямая зависимость: по мере увеличения показателя преломления все больше света отражается от поверхности минерала, и стеклянный блеск сменяется вначале алмазным, а затем **полуметаллическим** и **металлическим** (рис. 18). Сильнее всего отличается от других металлический



Рис. **18**. *Кристаллы пирита (металлический блеск)*

блеск. Причина блеска минералов с металлическим блеском и собственно металлов одна и та же. Это хорошо видно на примере самородного золота, самородной меди, самородного серебра или платины, словом в тех случаях, когда минерал является чистым природным металлом. У этих веществ идеально плотная решетка. Ее можно представить так: четыре прилегающих шара, в ямке между ними — шар и сверху вновь четыре шара. Это наиболее плотное заполнение пространства. Такая решетка называется объемоцентрированной. Электроны в ней как бы «овевают» ионы подвижным облаком — «электронным газом»: то один, то другой ион захватит электрон и вновь отпустит его.

Аналогично построены и другие металлы: их роднит строение плотной решетки. Такую же структуру как золото имеют алюминий, свинец, никель. У лития, хрома, молибдена решетка не объемоцентрированная, а гранецентрированная; а, например, у цинка и бериллия плотнейшая упаковка достигается при гексагональной (шестигранной) упаковке шаров ионов. Но суть одна — пространство, заполненное



Рис. **19**. *Самарскит (смолистый блеск)*

плотнейшим образом ионами с облаком «коллективных» электронов, вообще не пропускает лучей света, отражая их как зеркало.

Очень сходное с металлами строение имеют их сульфиды, в плотных структурах которых, со сближенными ионами металлов, главную роль играет чисто металлическая связь, то есть существует все тот же «электронный газ», не пропускающий световые лучи сквозь кристаллы, но зато прекрасно проводящий электричество и тепло.

А вот такие «оттенки» блеска как жирный или шелковистый определяются характером поверхности минерала — маленькие ямочки и неровности, особенно характерные для таких нестойких минералов, как каменная соль или нефелин, обусловливают жирный блеск, свет же, струящийся вдоль тонких волокон асбеста, гипса, некоторых разностей малахита, создает шелковистый отлив.

Есть и еще одна разновидность блеска — **смолистый** (рис. 19). Легко представить смолистый блеск янтаря или природных битумов — эти вещества по своей природе близки смоле. Но есть одна весьма значительная группа минералов под названием титано-тантало-нио-

баты, которые также имеют смолистый блеск. Эти минералы часто находятся в виде прекрасных четких кристаллов (кубы, октаэдры, призмы). На гранях кристаллов виден стеклянный, а нередко и полуметаллический блеск, но стоит разбить кристалл и перед нами заблестит смолистое, как капелька вара, темно-бурое, красноватое или почти черное зернышко. Такие минералы называются метамиктными. Им присуще особое состояние: внешне они выглядят как кристаллы, но их внутренняя кристаллическая структура разрушена. Горные породы обычно сложены зернышками, кристаллическую структуру которых выявляют лишь рентгеновые лучи. Но именно эти бесформенные зернышки являются истинными кристаллами, а вот прекрасно ограненные тантало-ниобаты часто представляют собой лишь бывшие кристаллы! Решетки этих минералов разрушает характерная для них примесь радиоактивных элементов — урана и тория. Это их излучение привело к «саморазрушению» решетки. В стекловатой бесструктурной массе часто остаются лишь небольшие островки бывших решеток, но эта среда почти непроницаема для света и создается эффект смолистого блеска.

МЯГКИЙ, КАК ВОСК, И ТВЕРДЫЙ, КАК СТАЛЬ

Мир камня, чарующий многоцветной радугой красок, бесконечно разнообразен по физическим свойствам минералов. Верно служат «жажде пользы» человека свойства кристаллов: механические (твердость, спайность, плотность, прочность, вязкость, ковкость), магнитные, электрические, люминесцентные и прочие.

Узнавать минералы помогают наиболее «личные» физические свойства минералов — диагностические. После цвета и блеска это прежде всего твердость, т. е. способность минерала сопротивляться разрушению при соприкосновении с другим минералом (или эталоном). «Спектр» твердости минералов по диапазону не уступает радуге их окрасок.

Яблочно-зеленый с перламутровым или жирным блеском и жирный на ощупь мыльный камень (жировик или тальк) известен как самый мягкий минерал — это эталон минимальной твердости. В кос-

метике тальк не заменим: ни одна красавица, ни один спортсмен, ни один малыш — не обходятся без тальковой пудры, которая состоит из обломков его кристаллов — тончайших чешуек.

По архитектуре решетки кристалла, химическому составу, внешнему виду и физическим свойствам тальк весьма близок к пирофиллиту или агальматолиту (фигурному камню). Агальматолит («агальма» — статуя) назван так за мягкость и податливость при обработке.

Черная пудра графита не менее, чем тальк и профиллит, жирна на ощупь — это экстра-смазка в косметике металлов. Свойство графита чертить бумагу — оставлять след чешуек, соскальзывающих с граней кристаллов — говорит о весьма маленькой твердости графита. Есть минерал, как близнец похожий на графит по цвету, блеску, низкой твердости, жирности на ощупь. Это молибденит — рудный минерал молибдена. Долгое время он так и считался разновидностью графита и шел на изготовление карандашей. Слоистая структура молибденита с весьма слабыми (как у графита) связями молекул между отдельными гексагональными «сотовыми» слоями, очень похожая на структуру графита и по геометрии, обусловливает его свойства. В эту же семью минералов значительной мягкости и жирных на ощупь со слоистой структурой кристаллов входят минералы вездесущих глин, в частности каолинит — сырье для фарфора и лучшего фаянса.

Нежными каменными розами «расцветает» подчас гипс — минерал также очень маленькой, но чуть большей, чем графит, твердости: он царапается ногтем. На гладких гранях параллелепипедов исландского шпата ноготь уже не оставит следа.

Более 2,5 миллионов лет назад люди постигли твердость кремня и кварца и использовали это свойство при изготовлении оружия.

«Грызи гранит науки». Вам знакомо это доброе пожелание? Самые твердые орешки в граните — это кварц и полевые шпаты (лабрадор, альбит, ортоклаз, микроклин). В гранитной одежде берегов они стойко сопротивляются натиску времени — непрерывному, то ослабевающему, то усиливающемуся натиску мириадов песчинок.

Бесцветный и густо-коричневый алмаз, синий корунд, красный рубин ценны не только в мире красоты, но и в мире точной техники.

Для шлифовки и резания различных материалов, в том числе и камня, подобран свой «спектр» твердости: алмаз, корунд, гранат, кварц, пирит, малахит и некоторые другие минералы. Пращур минералогии Аль-Бируни в монографии о минералах, драгоценных камнях и рудах писал о твердости, как о весьма характерной особенности каждого минерала. По Аль-Бируни, три балла твердости разделяют царство минералов: самая низкая твердость у агата, выше твердость корунда и самая высокая твердость у алмаза.

Современная шкала твердости минералов также эмпирическая — десятибалльная шкала Мооса*:

1 — тальк	6 — ортоклаз
2 — гипс	7 — кварц
3 — кальцит	8 — топаз
4 — флюорит	9 — корунд
5 — апатит	10 — алмаз.

Каждый минерал в этом ряду имеет твердость на единицу больше предыдущего (т. е. царапает его). Что значат эти интервалы в ряду твердости, удалось понять только с применением количественного измерения микротвердости — величины, соизмеримой с твердостью.

Эксперимент подтвердил эмпирическую шкалу Мооса. Более четко определилась закономерность (геометрическая прогрессия) изменения твердости минералов — эталонов этой шкалы, а также других минералов (за исключением нарушающей общий закон аномально высокой твердости алмаза).

С помощью количественного определения микротвердости удалось выяснить, что физический смысл твердости кристалла выражает прочность связи отдельных элементов — «кирпичиков» кристаллической решетки, твердость минералов — один из показателей прочности связей решетки.

* По имени немецкого минералога Мооса, предложившего эту шкалу твердости минералов почти два века назад

Аномально твердый алмаз (эталон твердости 10) имеет уникальную решетку из атомов четырехвалентного углерода, решетку с наипрочнейшими химическими связями между ее элементами — тетраэдрами углерода (фигуры в форме пакетов молока). Кристалл алмаза — одна гигантская молекула из одинаковых совершенно однотипно расположенных атомов. Тот же атом углерода (с той же валентностью) способен соединиться в сотообразные плоские молекулы, которые в стопках-слоях между этими «сотами» держатся очень слабыми связями и образуют «слоистый» кристалл графита (эталон твердости 1), склонного расщепляться на тончайшие чешуйки.

Анизотропия — векториальность твердости — наиболее ярко проявляется у дистена («дистен» — по-гречески две твердости): наибольшая (6) на грани, перпендикулярной к удлинению кристалла, а наименьшая (4, 5) — на грани параллельной удлинению. Это обусловлено различной силой связи элементов решетки кристалла дистена в разных направлениях.

Как оказалось, твердость некоторых классических минералов — эталонов шкалы Мооса тоже резко анизотропна, и их пришлось заменить. Новая шкала твердости, с более изотропными эталонами и более равномерная рекомендована А. С. Поваренных. Для практических целей можно пользоваться также примерной шкалой твердости, составленной из следующих предметов: мягкий грифель (1), ноготь (2), медная монета (3), оконное стекло (5), лезвие ножа (6), напильник (7), синтетический рубин кольца (9).

Эталоны высокой твердости, близкой к твердости алмаза (с числами твердости 10—14), — искусственные, они получены по «программе структуры» алмаза.

Твердости наиболее близки три физических свойства минералов: спайность, отдельность, излом. Жирность на ощупь мягких минералов (талька, графита, молибденита, каолинита и др.) по своей природе связана не только с низкой твердостью этих минералов, но и с весьма совершенной их спайностью. Спайность выражает «спаянность» в отдельные слои «кирпичиков» кристалла. По качеству «спаянности» — способности расщепляться по закономерным кристаллографическим направлениям — выделяют несколько классов спайности: весьма совершенная; совершенная; хорошая; плохая; спайность отсутствует.

Весьма совершенная спайность, в частности, у всех минералов слоистой структуры. Это кроме уже знакомых нам минералов группы талька, каолинита — группа слюд (мусковит, биотит), хлориты (широко распространенные зеленые минералы, нередко сплошь слагающие горные породы) и некоторые другие группы минералов. Весьма совершенная и совершенная спайность у минералов часто проявлена в нескольких направлениях: например, у барита (тяжелого шпата) — в двух, а у похожего иногда на барит кальцита — в трех направлениях; здесь спайность образует ромбоэдрические, легко выкалывающиеся кусочки кристаллов или, как говорят, отдельность. Свойство кальцита выкалываться ромбоэдрами, даже из совершенно иных по форме кристаллов (например удлиненных, призматических) натолкнуло ученых на мысль о наличии кристаллической решетки и послужило ее первой моделью.

Способность минералов раскалываться не по плоскостям спайности, а по сложной кривой поверхности называют изломом. Эта особенность также весьма характерна для многих минералов. С раковистым изломом кремня человек познакомился в каменном веке — ведь именно излом дает такие острые режущие края. Волокнистый и занозистый изломы — как у асбеста и у пироксенов — обычны в цепочечных и близких к ним структурах минералов, их кристаллы отщепляются волокнами.

С глубокой древности люди использовали еще одно весьма характерное свойство минералов — их плотность. Это свойство, как и твердость, связано с их структурой.

Наиболее тяжелые на нашей планете минералы — самородные элементы и окислы металлов — накапливались в морских и речных отложениях, образуя россыпи. В россыпях известны алмазы, золото, платина, касситерит, киноварь, гематит, ильменит и другие. Из россыпей человек добывает эти тяжелые минералы промывкой. А самые легкие минералы — это драгоценный лазурит, нефрит, лучистые цеолиты — силикаты с «ажурной» каркасной структурой.

В АРХИТЕКТУРНОЙ МАСТЕРСКОЙ ПРИРОДЫ

> Кристаллические формы... несут в себе нечто от эстетической привлекательности простоты: изучая эти элементарные формы, мы как бы приближаемся к самым основам понятия формы; пытаясь же понять принципы их строения, мы узнаем нечто о природе пространства, о мире, в котором живем.
>
> *ЧАРЛЗ БАНН*

Главный секрет очарования кристаллов — природное совершенство формы. Вспомните хотя бы тяжелые золотистые кубики пирита или островерхие (как отточенные карандаши) кристаллы горного хрусталя или аметиста (рис. 20), или шестигранные призмы берилла — голубого аквамарина или желтого гелиодора (рис. 21). А вот более сложные и причудливые симметричные фигурки — на удивление точно четыре, шесть, восемь, двенадцать и даже двадцать четыре раза могут повторяться, словно отраженные невидимыми зеркалами грани: треугольники, трапеции, параллелепипеды. Это кристаллы циркона, кальцита, алмаза, граната, сфалерита. А причудливо-симметричные звезды снежинок! Английский натуралист У. Бантли, очарованный их бесконечными вариациями, потратил годы, ловя снежинки на черную доску и затем фотографируя их под микроскопом. В результате этой кропотливой работы возник целый том с сотнями фотографий ажурных кристаллов снега.

Что же это? Волшебная игра? Урок геометрии? «Неужели они такие от природы?» — с восхищением восклицают люди. Да, от природы!

Эвклид не «придумал» геометрию — он лишь почувствовал гармонию природы, законы симметрии, действительные для мертвой и живой материи. В огненно-жидкой магме, в горячих струях растворов, просачивающихся сквозь поры и трещины горных пород, в клубах газов и паров, вырывающихся из вулканов, находятся в непрерывном движении потоки атомов и молекул. Остановиться и начать новую упорядоченную жизнь им не легко. Вспомните неуправляемую

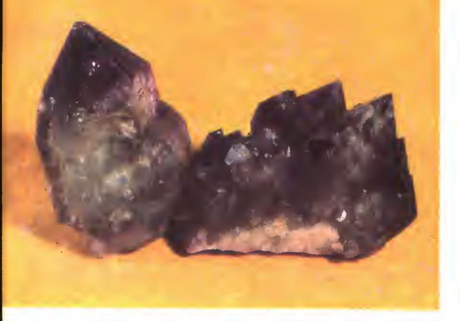


Рис. **20**. *Кристаллы аметиста*

«стихию» в школе на большой перемене! Но звенит звонок и сотни школьников не только разбежались по своим классам, но и сели попарно лицом к доске. Вот также из подвижной, непрерывно меняющейся магмы «по звонку» возникают предельно четкие кристаллы. Но что же играет роль «звонка» в природных процессах минералообразования?

В первую очередь — температура. Пока магма находится в раскаленно-жидком состоянии, трудно даже подумать о каком-либо порядке среди молекул. Но вот постепенно магма остывает и густеет, атомы и молекулы различных элементов сближаются все больше и больше, и, наконец, схваченные различными межмолекулярными силами притяжения (гравитационными, электрическими, магнитными), они останавливаются в наиболее удобных устойчивых позициях. Под действием этих сил молекулы еще не вполне остывшей магмы вы-

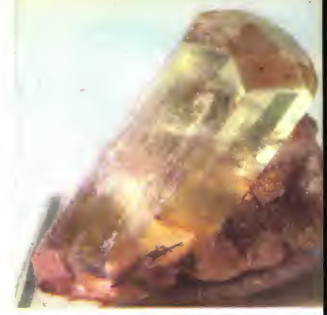


Рис. **21**. *Берилл*

страиваются в симметричном и закономерном чередовании, образуя устойчивый пространственный узор, который мы называем кристаллической решеткой. Какой именно единственный узор будет стабилен для данного набора атомов (т. е. химического состава магмы на этом участке), зависит в первую очередь от соотношения их размеров, величины и знака зарядов и др. Сами грани кристаллов — это стенки разнообразных архитектурных сооружений — кристаллических решеток. Английский кристаллограф Ч. Банн писал по этому поводу: грани кристаллов — «...это только простейшие способы завершения кладки; ... симметрия, проявляющаяся во внешней форме кристаллов, лишь отражает симметрию узора кладки».

Итак, форма кристаллов отражает в первую очередь внутреннюю структуру минералов. Правда, когда минералы кристаллизуются из магмы, только самые первые да еще самые сильные (есть у них такая

«кристаллизационная сила») успевают захватить место и образовать правильные кристаллы, а остальные втискиваются кое-как в промежутки, — тут уж не до формы! Только рентгеновые лучи выявляют кристаллическую сущность этих бесформенных зернышек. Если порода застывает на глубине, в ней все-таки заметны кристаллические зерна (вспомните хотя бы гранит или лабрадорит), а вот если магма выливается на поверхность при извержении вулканов, порода застывает так быстро, что кристаллы просто не успевают образоваться и получается вулканическое стекло.

А как же образуются дивные кристаллы — прозрачные, с гладкими блестящими гранями, о которых мы говорили вначале? Они растут не из расплава, а из водных растворов. Огромное количество солей различных металлов растворено в подземных водах, которые просачиваются по трещинкам и порам горных пород. Разнообразные химические реакции и просто остывание или испарение растворов приводят к выпадению растворенного вещества, и на мельчайших пылинках, обломочках породы, на стенках трещин и пустот, а иногда и просто сами по себе начинают осаждаться первые группы молекул — зародыши будущих кристаллов. Они осаждаются и тут же растворяются вновь — возникают и тают, как снежинки.

Для образования зародыша необходимо, чтобы несколько молекул расположились в позициях, соответствующих устойчивому кристаллическому узору. Но в беспокойном мире молекул не легко остановиться и положить начало упорядоченному существованию: если какая-то группа молекул и сможет распространиться в порядке закономерного узора — уже в следующий миг она, возможно, будет грубо разрушена энергичными соседями. Но как только некоторым группам удается все же немного вырасти — тут же на них устремляются все новые и новые молекулы, их уже не в силах удержать остывающий раствор! И кристаллы растут! Слой за слоем, как деревья.

Одни грани растут быстрее, другие медленнее, окончательную огранку кристаллу придают именно медленнорастущие грани. Кристаллы одного и того же минерала, но выросшие при разных условиях могут очень сильно отличаться друг от друга. Известно, например, что в более холодных растворах грани кристаллов при росте расщепля-

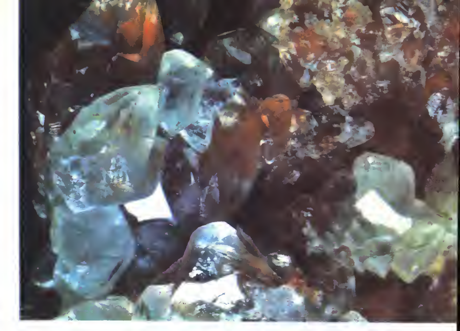


Рис. **22**. *Друза исландского шпата*

ются, образуя веера, целые снопы или даже шары, составленные из тонких призмочек — сферолитов. Особенно охотно образуются новые кристаллы вблизи уже возникших раньше, поэтому так часты кристаллические сростки — друзы, похожие то на волшебные замки с башенками, то на каменные щетки (рис. 22).

Самые красивые крупные и прозрачные кристаллы вырастают в пустотах пород — хрустальных погребах, где скапливается последняя часть расплава — раствора, переполненная газами и парами, да еще в трещинах гор — так называемых альпийских жилах, куда растворы постепенно выносят вещество материнской породы.

Здесь они переотлагаются уже не из расплава, а из раствора, очень медленно, достигая необычайного совершенства. Из холодных растворов растут в пещерах и гигантские арагонитовые и халцедоновые



Рис. **23**. *Натечные формы халцедона*

сосульки (рис. 23). Вода по такой сосульке стекает просто под действием тяжести, медленно испаряясь при этом, а содержащиеся в ней соли остаются, кристаллизуются на кончике, удлиняя сосульку еще на тысячную долю миллиметра. Примерно так же растут и круглые малахитовые почки (рис. 24), из растворов, выщелачивающих медь из медных руд. Только растут они обычно в небольших пустотах во вмещающих известняках и на них действуют в первую очередь не силы тяжести, а силы поверхностного натяжения — те самые, которые скатывают в шарики капельки росы на листьях.

А некоторые кристаллы умудряются расти прямо в твердой породе. Растворы, поднимаясь по мельчайшим порам и трещинкам породы, постепенно разрушают старые кристаллы. Одни вещества при этом уносятся далеко, а другие переотлагаются тут же, часто прямо на гранях старых кристаллов, образуя пленочки, присыпки (рис. 25), «рубашки» (рис. 26). Все больше и больше вытесняя неустойчивого «хозяина», они заполняют весь объем — и в старых гранях размеща-



Рис. **24**. *Почка малахита*

ется уже совсем другое, новое вещество! Такие фокусы называются псевдоморфозами. Иногда поздние минералы замещают не кристаллы, а остатки растений или животных (рис. 27).

Эти новые, более устойчивые в изменившихся условиях минералы осаждаются не только внутри контуров растворенных, бывших или, как говорится, «теневых» кристаллов. Они осаждаются и по мелким трещинкам и порам, создавая вначале тонкую вкрапленность, а затем замещая первоначальную породу нацело.

Представьте себе теперь, что трещины, подающие раствор, приоткрылись глубже, поступающий раствор стал горячее и активнее. Кристаллы в подобных условиях даже могут перейти на время в раствор, а потом их молекулы вновь осядут на гранях более крупных кристаллов. Они как бы собираются все вместе, чтобы путем «собирательной перекристаллизации» создать те огромные, длиной до нескольких (и даже десятков) метров кристаллы, размеры которых так поражают нас в пегматитах. Совершенством граней такие кристаллы,



Рис. 25. Присыпка марказита на кварце

правда, не блещут, но это и понятно — кристаллики меньших размеров всегда более красивы и более совершенны, ведь какое-то время они растут без дефектов и помех... Кристаллы могут при этом раствориться частично. Такое растворение (или природное травление) кристаллов поздними растворами различно в разных кристаллографических направлениях (рис. 28).

Есть, наконец, в царстве кристаллов образования, которые стоят несколько особняком. Как-то не сразу приходит в голову, что это тоже кристаллы (рис. 29). Речь идет об идеальных кристаллах — кристаллах-иголках, кристаллах-волосинках, кристаллах-нитках. Самый популярный из них — горный лён или асбест. Его удивительные эластичность и прочность, позволяющие прясть из него пряжу и ткать несгораемые ткани, были известны еще в древней Индии и Китае. В 315 г. до н. э. дал описание асбеста первый греческий минералог Теофраст. В XVIII веке изделия из асбеста — перчатки, изящные кружевные салфетки — делали в Европе и у нас на Урале.

Рассказывают, что уральский заводчик Демидов подарил царю Петру Первому красивую серебристую скатерть из неведомой ткани. За торжественной трапезой Демидов с демонстративной неловкостью

Рис. **26**. *«Рубашка» кварца на флюорите*

Рис. **27**. *Псевдоморфоза опала по дереву*

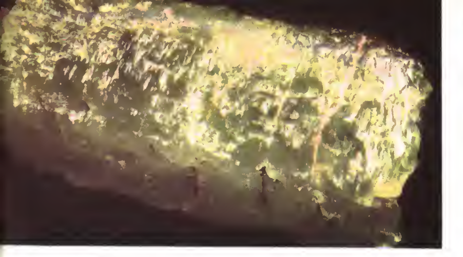


Рис. **28**. *Кристалл берилла с фигурами растворения на гранях*

залил скатерть жирным соусом и красным вином и на глазах растроенного царя швырнул ее в пылающий камин! Выждав некоторое время, он с видом фокусника выхватил скатерть из пламени и, слегка остудив ее, снова расстелил чистую и сверкающую на столе.

Те, кто бывал в минералогических музеях, наверное помнят удивительные закругленные нити серебра, золотистые тонкие струны рутила. Исследования последних лет показали, что около 150 различных минералов могут кристаллизоваться в виде тончайших волокон. Иногда эта форма связана со структурой кристаллической решетки, имеющей в таких случаях форму бесконечной цепочки, но часто она связана лишь с направлением питающих кристалл растворов — «симметрией среды». И вот оказалось, что эти нити, или «усы», обладают поистине удивительной прочностью в десятки раз превосходящей прочность других кристаллических форм из тех же веществ. Прочность «усов» приближается к идеальной, вычисленной по формулам — это объясняется тем, что поверхность «усов» идеально гладкая, даже при увеличении в 40 000 раз на ней не обнаруживаются дефекты. Поверхность же прочих кристаллов буквально испещрена ими, а ведь разрушения начинаются всегда с самых слабых мест.



Рис. **29**. *Нитевидные кристаллы халцедона*

Искусственными и естественными нитевидными кристаллами заинтересовались ученые и инженеры. Эти кристаллы уже сейчас находят важное применение в технике, например сапфировыми и графитовыми «усами» армируют тугоплавкие металлы. Из таких материалов делают части газотурбинных двигателей и жаропрочные детали ракет.

А как же снежинки? Эти хрупкие, бессчетные, падающие с неба и никогда не повторяющиеся звездочки? Почему мы называем их кристаллами — ведь граней-то у них нет? Оказывается, помимо кристаллизации из расплава или раствора существует еще один путь: кристаллы могут возникать непосредственно из газа — так снежинки кристаллизуются из водяных паров в виде ажурных тел, представляющих собой как бы «скелетики» плоскогранных форм. Они растут не послойно, а за счет быстрого «выброса» веточек в разных направлениях. Помимо снежинок и морозных узоров непосредственно из газов выпадают кристаллы некоторых веществ, таких, как хлористый аммоний или сера близ действующих вулканов.

4—335

Впрочем, иногда дендриты и «скелетные кристаллы» растут и не из паров, но всегда их форма как бы отражает стремление продвинуться как можно дальше и быстрей при минимуме используемого материала. Таковы, например, тонкие ветвистые «деревья» — дендриты окислов марганца на поверхности или в трещинах известняка.

АРСЕНАЛ МИНЕРАЛОГИИ

Металлы и минералы сами на двор не придут; требуют глаз и рук к своему прииску.

М. В. ЛОМОНОСОВ

С точки зрения геохимика минералы — это концентраторы химических элементов, продукты реакций, протекающих в земной коре. Физики и кристаллографы рассматривают их как природные кристаллические тела. Для геологов, исследующих месторождения полезных ископаемых, минералы — это прежде всего составные части горных пород и руд, свидетели и участники их возникновения. Технолог-обогатитель четко разделяет минералы на рудные (полезные компоненты) и все прочие (пустая порода).

Как же изучают минералы сегодня? А это смотря по тому, кто и зачем их изучает. Многочисленные весьма разнообразные методики сменяют одна другую в зависимости от стадии и цели исследований. Остановимся на основных из них.

Началом всех начал и сейчас остается первичная визуальная диагностика: основным прибором служит внимательный глаз наблюдателя. У каждого из почти 4000 минералов и их разновидностей, установленных на сегодняшний день, свой «характер», свой неповторимый «букет» признаков; диагностическим часто служит именно их сочетание. Даже для первичного полевого определения минерала, как правило, недостаточно установить его главные свойства (цвет,

размер и характер выделений, примерные плотность и твердость, спайность, цвет черты, пластичность или хрупкость). А иногда важны казалось бы второстепенные, но индивидуальные особенности.

Ключом к определению минерала часто служат такие характерные детали его облика, которые замечаешь лишь после некоторой тренировки внимания. Например, насколько минерал прозрачен и везде ли в равной степени? Как распределяется окраска в разных частях кристалла? Все ли грани имеют одинаковую поверхность и блеск, или лишь некоторые из них гладкие, а другие покрыты штрихами, неровными бороздками или треугольничками? Как выглядит свежий скол минерала и какие налеты, корочки, присыпки на его выветрелой поверхности? Очень важно установить, какие минералы сопровождают определяемый. В мире минералов пословица «с кем поведешься, от того и наберешься» часто приобретает буквальный смысл.

Примерное определение большинства диагностических свойств требует лишь внимания, некоторого навыка и несложных приспособлений. Цвет черты смотрится, например, на матовой фарфоровой пластинке. Детали строения кристаллов видны через лупу, твердость определяется путем сопоставления с эталонной минеральной или чаще «бытовой» шкалой.

Чтобы различить карбонатные минералы, надо капнуть десятипроцентной соляной кислотой: кальцит и арагонит бурно «вскипают» в капельке кислоты, доломит и магнезит реагируют спокойнее и «вскипают» только в порошке, а сидерит и анкерит с соляной кислотой почти не реагируют. Но если добавить к кислоте капельку синих чернил, яркое синее пятнышко крепко «въедается» в зерно анкерита, а с кальцита легко смывается водой.

Присутствие в минерале таких характерных элементов, как железо, кобальт, хром, марганец, обнаруживают с помощью микрохимических реакций. Магнитные минералы четко и быстро выявляются по отклонению стрелки компаса.

Для минералога-любителя исследования минерала завершаются на стадии полевой диагностики, а для минералога-специалиста они только начинаются. В лаборатории нас уже не удовлетворяют свойства, определенные с точностью до оконного стекла или перочинного ножа.

Твердость измеряется по шкале, градации которой оцениваются в трех- и даже четырехзначных цифрах. Для этого в грань или отполированную поверхность кристалла вдавливают алмазную пирамидку и потом изучают размер и характер отпечатка на этой плоскости. Оказывается, у большинства минералов в разных направлениях твердость несколько меняется.

Особенно важно точное определение **плотности** (удельного веса): оно позволит связать между собой состав и структуру минерала. И если в поле нас удовлетворяло определение «тяжелый» или «легкий», то при детальном измерении необходимо знать плотность минерала с точностью до второго или даже третьего знака после запятой. В зависимости от количества исследуемого минерала пользуются разными приспособлениями, устройство которых основано на законе Архимеда: пикнометрами (для измельченного в порошок минерала), гидростатическим взвешиванием (определение в крупных обломках), тонкими тщательно градуированными трубочками (измерение плотности отдельных мелких зерен) и т. д. Остроумный метод «поплавка» позволяет определить плотность минерала даже в одном единственном зерне.

Изучение **спектров поглощения света** позволяет перевести на точный язык цифр и кривых все оттенки окраски минералов. Неоднородность (анизотропия) кристаллической среды выявляется при этом еще более отчетливо: окраска часто меняется с изменением направления луча и по цвету, и по интенсивности. Это явление называется плеохроизмом.

Магнитные свойства минералов также могут быть охарактеризованы в точном цифровом выражении, путем измерения их магнитной восприимчивости и ряда других магнитных характеристик.

До сих пор речь шла главным образом об уточнении физических констант, знакомых нам по визуальному облику минерала и полевым методам диагностики. Но главная ценность лабораторных исследований — в возможности более глубокого и всестороннего изучения физической природы минералов, позволяющего расширить наши представления о минеральном веществе.

Нестареющей «классикой» лабораторных исследований остаются различные методы изучения минералов под микроскопом.

Сюда можно отнести и большую **бинокулярную лупу**, похожую внешне на микроскоп. Она позволяет рассматривать кристаллы и их обломки с увеличением в 10—20 раз. При таком увеличении минерал весь как на ладони: великолепно видно, что поверхность граней не гладкая, а испещрена штриховкой, на ней вырисовывается скульптура роста, или, наоборот, фигуры частичного растворения минералов; виден характер сростков минералов, зональное строение зерен, мелкие включения посторонних примесей, обрастание вторичными минералами.

Когда речь идет об уточнении диагностики минералов — первую скрипку всегда играет **кристаллооптика**. Это весьма увлекательная и на первый взгляд подчас ошеломляющая область исследований. Взять хотя бы самый элементарный школьный пример: ложечка, опущенная в стакан, кажется переломленной, так как скорость распространения света в воде и в воздухе неодинакова. Аналогичное явление можно увидеть и в кристалле прозрачного исландского шпата, если накрыть им линию на бумаге. Удвоенные линии то сбегаются, то расходятся, смотря, как повернуть этот прозрачный кристалл. Что же происходит? Луч, входя в кристалл исландского шпата, как бы расщепляется на два новых, преломляющихся по-разному. Впервые этот эффект, называемый двойным лучепреломлением, заметил и описал датский профессор математики и медицины Эразм Бартолин еще в 1669 году.

В кристалле меняется не только направление луча, но и сам характер световых колебаний (рис. 30). Обычно они распространяются во все стороны. Кристаллическая же решетка как бы концентрирует все колебания в одной единственной плоскости, перпендикулярной к плоскости луча (вспомните волну — «змейку» на веревке, в которой колебания проходят также в одной плоскости). Это явление называется поляризацией света.

Представим себе светящуюся точку. Поверхность распространения световой волны в воздухе или другой однородной среде выглядит как шар. Но внесем мысленно нашу светящуюся точку внутрь кристалла, и наш шар немедленно исказится — вытянется или, напротив, сожмется: шар превратится в геометрическую фигуру— эллипсоид.

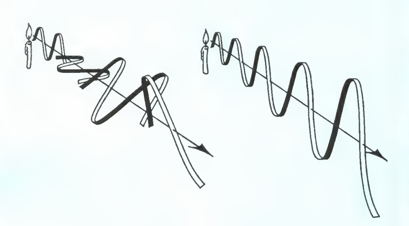


Рис. **30**. *Распространение световых лучей:*
слева — в обычном свете, справа — в поляризованном свете

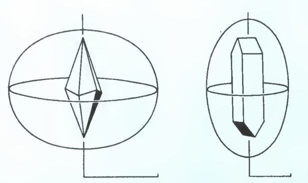


Рис. **31**. *Изменение показателя преломления с изменением направления световых колебаний:*
слева — в оптически отрицательном кристалле, справа — в оптически положительном кристалле

Именно форму эллипсоида имеет в общем виде мысленная поверхность, построенная на показателях преломления*, как на координатных осях (рис. 31).

Облик эллипсоида будет зависеть от того, насколько симметричен трехмерный узор расположения атомов в решетке минерала. Если симметрия проявлена в кристалле слабо (например, в полевых шпатах), то и показатели преломления света в разных направлениях будут сильно различаться, а следовательно, эллипсоид будет трехосным — наименее симметричным.

Если кристалл имеет тройную, четверную или шестерную ось симметрии (соответственно кристаллы кварца, циркона, берилла), то эллипсоид принимает облик эллипсоида вращения — два из трех показателей преломления становятся одинаковыми. Наконец, в решетке кубического кристалла (поваренная соль, флюорит) атомы чередуются в одинаковом порядке во всех направлениях, и поверхность мысленной световой волны превращается в этом случае в шар: все показатели преломления сливаются, двупреломление света исчезает.

Английский физик У. Николь в свое время весьма заинтересовался эффектом двулучепреломления в исландском шпате, решив использовать его в качестве поляризатора света**. Призма Николя (или просто «николь»), позволяющая исследовать минералы в поляризованном свете***, входит в конструкцию всех **поляризационных микроскопов.** Установка в оптической системе микроскопа пары скрещивающихся николей (поляризующих свет во взаимно перпендикулярных плоскостях) позволяет изменить направление колебаний проходящей волны. Детально проанализировав характер прохождения света через минерал, мы получим определенный набор оптических констант.

---

* Показателем преломления называется отношение скоростей распространения волн в пустоте (вакууме) и в какой-либо среде.

** Уникальность этого минерала состоит в том, что он совмещает идеальную прозрачность и отсутствие окраски с очень высоким двупреломлением. Блестящим примером гениально простого конструктивного решения явилась призма, вырезанная Николем из кристалла исландского шпата и ориентированная таким образом, что после прохождения через нее один луч, отраженный поверхностью распила, уходит из кристалла, и свет, прошедший через кристалл, оказывается поляризованным в одной плоскости.

*** В лучших современных микроскопах с кальцитовой оптикой применяются усовершенствованные конструкции призм (модели Франка — Риттера или Глана — Томпсона) или синтетические поляроиды

Прозрачные в тонком срезе минералы изучают в проходящем свете, рассматривая под микроскопом специальный препарат — **шлиф**, изготовленный из минерала или горной породы и представляющий собой тонкую (0,02—0,03 мм) пластиночку. Непрозрачные, так называемые рудные минералы (магнетит, ильменит, большинство сульфидов и др.) изучают в отраженном свете в полированных шлифах, или аншлифах, с помощью особого микроскопа. Однако, как бы ни совершенствовалась микроскопия, непосредственно увидеть частицы глины, минералы бокситов, или, например, даже самые «крупные» молекулы под оптическим микроскопом нельзя: наш глаз не может различить частицы, значительно меньшие, чем длина волны видимого света (т. е. меньше, чем 0,3 микрона). Свет просто «не заметит» такую частицу, «не донесет» ее изображение до нашего глаза.

Чтобы получить видимое изображение таких крошечных объектов, нужно использовать электромагнитные колебания, у которых длина волны значительно меньше размера наших невидимок. Такие волны в природе есть — это волны электронов, разогнанных в мощном электрическом поле. Их длина порядка 0,000005 микрона, и они уже могут фиксировать объекты размером около 0,2 микрона. Само «изображение» частицы мы видеть не в состоянии, но вот «изображение изображения» — удается. Именно на этом принципе устроен электронный микроскоп.

Источником «света» в этом микроскопе служит раскаленная вольфрамовая нить — «электронная пушка», испускающая поток электронов. Электронный луч проходит через объект изучения и специальные магнитные линзы, фокусирующие и проецирующие изображение предмета на экран. Полученное изображение фотографируют и изучают.

С помощью электронного микроскопа ученые впервые смогли спроецировать на экран облик основных минералов глин — каолинита, монтмориллонита, гидрослюд и почти таких же тонкозернистых (тонкодисперсных) руд алюминия — бокситов. Для этого понадобились увеличения в 25—30 тысяч раз! Электронный микроскоп позволил впервые подтвердить послойный механизм роста кристаллов, механизм образования дислокаций (дефектов) в кристаллической

решетке, помог выяснить состав и расположение тончайших включений в минералах.

Часто и не менее успешно, чем в медицине, в минералогии применяют рентгеновы лучи, представляющие собой электромагнитные колебания с длиной волны порядка 0,2 миллимикрона. Этот диапазон волн, соизмеримый с межатомными расстояниями в кристалле, словно создан для изучения кристаллических структур минералов, в частности для измерения расстояний между атомами или ионами в решетке. Рентгеновы лучи могут проникать внутрь кристалла и отражаться от наиболее плотных атомных или ионных сеток (плоскостей решетки, параллельных реальным или возможным граням кристалла).

Отражения, зафиксированные на фотопленке в виде пятен (при исследовании одного кристалла) или дуг (при исследовании кристаллического порошка), дают возможность измерить расстояния между различными наиболее плотными плоскостями кристалла. **Рентгеноструктурный анализ** позволяет связать свойства минералов с их составом и строением, т. е. определить кристаллическую структуру минерала.

Некоторые изменения минералов происходят с выделением или поглощением тепла: обезвоживание, окисление и восстановление структуры метамиктных минералов и другие. На этом свойстве минералов основан **дифференциальный термический анализ** (ДТА), который дает возможность построить термические кривые (термограммы). Для многих минералов эти кривые столь характерны, что могут служить надежным подспорьем при диагностике. Созданы атласы термических кривых различных минералов.

При детальном изучении минерала исследователя интересует и его **химический состав**. Классические методы аналитической химии позволяют установить количественное содержание всех компонентов минерала. Как связать реальный химический состав минерала с его структурой? Для этого надо знать, как компонуются атомы в решетке минерала, и определить размер элементарной, периодически повторяющейся, клеточки — ячейки. Эти сведения дает нам рентгеноструктурный анализ. Необходимо знать и плотность минерала. Если эти сведения известны, можно вычислить из данных химического ана-

лиза реальное соотношение атомов в составе минерала, т. е. рассчитать его формулу. **Кристаллохимическая (структурная)** формула минерала связывает всегда несколько непостоянный состав минерала с его более стабильной структурой.

Однако не всегда задача состоит в вычислении конкретной формулы минерала. Значительно чаще приходится решать такие вопросы: как «выдерживается» в рудном теле содержание полезного компонента, в каких именно минералах он концентрируется. Часто важно заметить даже незначительную примесь (десятитысячную долю!) рудного вещества. Например, повышенное содержание тантала в граните позволяет определить, в каких гранитных массивах, вообще, имеет смысл искать руду. Но анализов для этого нужно иметь сотни, а то и тысячи. Полный прямой химический анализ здесь не подходит. На помощь химии приходит физика.

Еще в конце прошлого века ученые пришли к идее изучения состава вещества по спектру его паров. Ведь именно исследование спектра Солнца и других звезд позволило установить единство состава вселенной! Чтобы довести исследуемый минерал до состояния ионизированной раскаленной плазмы (приблизительно до состояния Солнца!), его сжигают в высоковольтной электрической дуге. При этом вещество минерала начинает подобно Солнцу излучать видимый свет. Спектр излучаемого света у каждого химического элемента свой: натрий дает двойную желтую линию, калий — фиолетовую и красную, литий — красную и оранжевую. По спектру минерала мы можем расшифровать его состав: интенсивность тех или иных линий спектра позволяет судить о содержании в минерале различных элементов. **Спектральный метод** отличается высокой чувствительностью, намного превышающей чувствительность химического анализа.

В последнее время широко входят в жизнь сравнительно новые **ядерно-физические** методы анализа. Они основаны на свойстве химических элементов образовывать радиоактивные изотопы под действием радиоактивного или рентгеновского облучения. Пробу исследуемого минерала помещают в атомный реактор, где подвергают облучению. Содержание определяемых элементов устанавливают по продуктам ядерных превращений радиометрическим или радиохимическим способом. Этим методом, имея небольшое количество веще-

ства (10—100 мг), можно получить точные данные о содержании таких элементов, как вольфрам, тантал, скандий и другие.

Кристалломорфологические исследования долгое время ограничивались главным образом установлением набора граней и измерением углов между гранями кристалла, выявлением его симметрии — словом, реконструкцией его идеальной кристаллической формы. Атласы идеальных кристаллических форм несомненно способствуют диагностикс реальных минералов. Однако в последние двадцать — тридцать лет кристаллографы и минералоги заинтересовались не столько выявлением идеализированного кристаллического облика — символа, сколько действительным развитием подлинных, «живых» кристаллов. Их реальная форма, а часто и сами дефекты и искажения этой формы могут дать ценнейшую информацию об условиях образования конкретных кристаллов. Почему у взятого нами кристалла преобладают те или иные грани? В каком положении он рос? Прерывался ли этот рост? Растворялся или замещался кристалл в процессе роста? На все эти и подобные вопросы ответы дает **онтогенический** анализ минералов.

В процессе роста кристалл захватывает массу мельчайших посторонних включений — пузырьков газа и жидкости или твердых частиц соседних минеральных зерен. Изучение состава и распределения этих включений, влияния их на процесс роста и на возникновение различных дефектов кристаллической решетки минерала-«хозяина» составляют большую и весьма перспективную область современной минералогии.

Изучение включений в кристаллах дает информацию о температуре, давлении и составе растворов, из которых выросли эти кристаллы, а также помогает кристаллографам, занимающимся промышленным синтезом кристаллов, понять условия выращивания бездефектных кристаллов для нужд современной техники.

В мире минералов известный афоризм «Скажи мне, кто твой друг, и я скажу, кто ты» можно перефразировать примерно так: «Покажи мне, с кем вместе ты вырос, и я скажу, кто ты». Справедливость подобного утверждения не вызывает сомнения. Из расплава или раствора при каких-то определенных температурах, давлении и концентраций выпадает, как правило, определенная постоянная «ком-

пания» — парагенетическая ассоциация минералов. Часто один и тот же минерал, например кварц, встречается в разных парагенетических ассоциациях. По набору минералов, с которыми он сосуществует, можно судить об условиях образования всей ассоциации. Так, если кварц встречен в составе гранита вместе с калиевым полевым шпатом, плагиоклазом и биотитом, то, очевидно, он образовался из магматического расплава при относительно высоких температурах (600—800°С). Если же кварц встречен в виде жил с сульфидами (галенитом, сфалеритом, халькопиритом), он образовался при температурах 100—300°С. **Метод парагенетического анализа** позволяет расчетно-графическим способом представить различные ассоциации минералов, сменяющие одна другую.

Наряду с изучением природных минералов и их ассоциаций, современная генетическая минералогия все шире применяет **экспериментальное моделирование процессов минералообразования** в лабораторных условиях. Этот метод заключается в искусственном получении минералов и минеральных парагенезисов, близких к природным, с использованием различных минералообразующих сред и определенного режима температуры и давления. Сравнение экспериментальных результатов с минералогическими наблюдениями над природными объектами позволяет лучше понять физико-химические закономерности образования минералов, руд и горных пород.

Одним из самых молодых разделов минералогии является **технологическая минералогия**, которая занимается изучением свойств минералов, играющих важную роль в процессе обогащения руд и химико-металлургической переработки рудных концентратов. К числу таких свойств минералов относятся, например, поверхностные (смачиваемость, сорбционная способность и др.), электрические, растворимость в кислотах и щелочах, поведение при нагревании и т. д.



«МИНЕРА» — КАМЕНЬ, РОЖДАЮЩИЙ МЕТАЛЛ

РУДА КАМЕННАЯ

От звучного латинского слова «минера» — «камень, рождающий металл», — и произошло слово «минералогия». Истоки знаний о камне затерялись где-то в дали палеолита. Неистощимая любознательность наших предков сочеталась с ненасытным стремлением извлекать пользу из окружающей среды, а наивная склонность обожествлять природу — с «кощунственным» стремлением тут же употребить в дело могущество «богов». Даже самое грозное «божество» — огонь — человек рискнул внести в свою пещеру. А щедро рассыпанные природой твердые кремневые гальки (эти «краеугольные камни истории»), которые раскалывались, обнажая острые края, он превращал в зубила, скребла, наконечники копий и стрел.



Рис. **32**. *Кремень*

Наш пращур каменного века Homo habilis (человек умелый)*, добывавший кремень в качестве первой «руды», использовал (разумеется, безотчетно!) одну из основных геохимических особенностей элемента кремния, а именно, его распространенность: в земной коре кремния немногим больше четверти, т. е. столько, сколько всех остальных элементов вместе взятых (за вычетом кислорода).

Правда, чтобы освоить такую руду, пришлось на опыте изучить основные свойства кремня: способность давать при ударе искру, высокую твердость, вязкость, а главное раковистый излом, образующий острый режущий край (рис. 32).

Помимо рациональной формы и совершенной обработки орудий каменного века нас поражает и другое: человек каменного века (уже

* Наиболее древние каменные орудия, найденные в Кении и Танзании, были сделаны более 2,5 млн. лет назад!

в неолите) не ограничивался поисками первосортных кремней на поверхности, он добывал кремневые «руды» на глубине. Неолитические подземные разработки кремня известны в Бельгии, во Франции, в Англии, Швеции, Польше и Белоруссии. Одна из шахт Бельгии (местечко Спиенны) достигает семнадцатиметровой глубины. На дне шахты проходят горизонтальные выработки, крепящиеся целиками оставленной породы. Можно только удивляться, с каким искусством проходчики каменного века задавали эти древнейшие на земле шахты, точно прослеживая пропластки высококачественного кремня в мягком меловом известняке. Этим людям никак нельзя отказать в причастности к минералогии!

Не меньшее восхищение вызывает и первый из известных в истории человечества неолитический город Чатал-хюйюк в Южной Анатолии, возникший в VII тысячелетии до н. э. на основе «горнодобывающего» промысла. Площадь, занятая некогда этим поселением, составляла 32 акра! На этой территории были расположены дома с плоскими крышами, разделенные узкими улочками, взбегающими вверх по склону холма к подножию потухших вулканов Караджидаг и Гасандаг. Археолог Джеймс Меллаарт, обнаруживший это древнейшее поселение в 1958 году, описывает найденные там удивительные вещи: костяные и деревянные сосуды, статуэтки из обожженной глины и темно-зеленого камня, в том числе статуэтки Матери-Богини, маленькие фигурки пеших и конных людей, изображения быков, баранов, леопардов. Еще более удивительны яркие многоцветные росписи на стенах храмов-гробниц и особенно громадные, иногда достигающие двух метров барельефы людей и животных. При их изготовлении слой гипса наносился на остов из соломы или глины, а для изображения божества с головой быка или коровы к стене храма в качестве основы барельефа крепился просто подлинный череп с рогами, также покрывавшийся потом раскрашенным гипсом.

Археологи установили состав принадлежавшего этому племени стада и узнали, что кроме скотоводства и земледелия люди Чаталхюйюка занимались охотой на диких ослов, оленей, кабанов, леопардов. И все же, как считает Джеймс Меллаарт, основой их существования, определявшей весь уклад жизни и невиданные по тем временам размеры поселения, была добыча обсидиана — прекрасного сырья для

парадного и военного оружия. Неисчерпаемые запасы этого высококачественного сырья таили «кладовые» вулканов Караджидаг и Гасандаг. Можно считать, что Чатал-хюйюк представляет собой одно из первых на земле поселений «монополистов» прекрасного «стратегического сырья» каменного века. Лучшие образцы этой древнейшей «руды» археологи находили спрятанными про запас под полами домов.

Но в Чатал-хюйюке интересна и еще одна находка: именно здесь были впервые найдены наиболее древние* изделия из металла — мелкие шильца, проколки, бусинки. Исследования показали, что они сделаны главным образом из меди.

Возможно, в Южной Анатолии люди впервые познакомились с рудой в нашем понимании этого слова. Находки археологов показывают, что минералоги, жившие почти девять тысячелетий тому назад, прекрасно знали свойства не только вулканического стекла, но и некоторых минералов меди.

Итак, первое знакомство с рудой состоялось еще в каменном веке, когда люди заметили, что не все камни трескаются от жара костра и разлетаются на острые осколки (именно с костра часто начиналась обработка камня), иногда попадаются глыбы, которые в огне становятся мягкими, податливыми— ковкими. Ладонь человека впервые ощутила великолепную тяжесть и холодок металла!

Вероятно, в первую очередь были освоены «готовые» металлы — самородные медь, золото, железо. Они одновременно являются и металлами и минералами — природными образованиями постоянного состава.

Но что же именно сделало золото «металлом царей и царем металлов»? Почему медь опередила железо почти на пять тысячелетий, а алюминий известен нам немногим более ста лет? Почему тантал, бериллий и цезий мы называем «металлами сегодняшнего дня»?

Оказывается, судьба металла очень часто зависит не только от его собственных качеств, но и от свойств его природных соединений — минералов. Давайте вспомним историю освоения металлов.

* Несколько позднее в верховьях р. Тигр, к востоку от Чатал-хюйюка, были обнаружены мелкие предметы из меди (VIII—VII тысячелетия до н. э.).

БЫЛ ЛИ «ЗОЛОТОЙ» ВЕК?

Ценной была тогда медь, а золото было
в презреньи,
Как бесполезная вещь с лезвеём, от
удара тупевшим.
Ныне в презреньи медь, а золото в
высшем почете.
Так обращенье времен изменяет значенье
предметов.

ТИТ ЛУКРЕЦИЙ КАР

Один археолог — участник раскопок в «Долине царей» в Египте — с изумлением отмечал, что найденное там золото такое яркое и светлое, будто оно только что вышло из рук золотых дел мастера. Вот это свойство самородного золота — минерала и металла — никогда не терять своего солнечного цвета и яркого блеска испокон веков поражало воображение людей. Древним оно казалось сверхестественным, волшебным. «Золотая маска навеки сохранит неизменным облик фараона, — верили египтяне, — и его душа всегда сможет вернуться в свой золоченый футляр».

А жители степей скифы считали, что сплошная маска не обязательна — самое главное закрыть от злых духов золотыми пластинками-дверцами наиболее «опасные ворота» — глаза и рот покойного. И своему грозному идолу — боевому мечу (таков был символ верховного бога вольнолюбивых скифов!) они чеканили «охранительные» золотые ножны.

Народы солнцепоклонники думали, что золото — сродни солнцу. Вспомним хотя бы Древний Египет — тревожное время фараона-бунтаря Эхнатона. Этот очень решительный молодой фараон, чтобы разом покончить с целой армией жрецов, отверг многочисленный пантеон старых богов, покинул древнюю столицу предков Фивы и на пустом месте воздвиг новый город. В честь единственного достойного бога Атона-Солнца, дающего жизнь и свет, новую столицу назвали «небосклон солнца» — Ахет-Атон. В ее храмах крышей служил лазурный небесный свод и знойное африканское солнце дробилось

и пылало в полированных золотых дисках, горящих словно сотни маленьких солнц! Само же солнце египтяне называли «Большой диск яркого золота». Золотой диск — символ солнца — пережил тысячелетнюю славу Египта.

А когда могущество страны фараонов миновало, золотой диск словно перекатился вслед за солнцем через океан и запылал в перуанских джунглях в ступенчатых храмах Куско — священного города солнцепоклонников-инков. И здесь люди считали золото священным воплощением солнца на земле. Только имя бога Солнца было не Атон, а Инти. Огромный золотой диск с глазами-самоцветами олицетворял божество в храме Солнца в Куско. Примыкающий к храму Золотой сад с кустарниками, деревьями, цветами и птицами, отчеканенными из чистого золота, как бы символизировал солнце, дающее жизнь.

Греческий бог солнца Гелиос, управлявший квадригой огненных коней и ежедневно возносивший светило на небосклон, «по совместительству заведывал» также и золотом. Уже значительно позже в средние века в манускриптах алхимиков золото и солнце имели единый знак-символ.

Да и наше русское слово «золото» скорее всего происходит от слова «сол» — солнце.

Весьма убедительно и торжественно выглядели в золотом обличии и другие божества древности — от золотого тельца скотоводов израильтян до колоссальных (высотой с десятиэтажный дом) позолоченных статуй бога Будды в горах Афганистана.

Геохимия объясняет чудесную неизменность, вечность золота его химической инертностью — оно почти не способно образовывать соединения с другими элементами. Более 99% золота присутствует в земной коре в самородном виде.

Коренное самородное золото (рис. 33) в высокотемпературных кварцевых жилах встречается вместе с пиритом, арсенопиритом, сфалеритом и галенитом, а в низкотемпературных жилах его сопровождают вездесущий кварц, халцедон, барит, флюорит, полупрозрачный полевой шпат — адуляр и карбонаты — сидерит и анкерит. Серебристый сульфид — арсенопирит в низкотемпературных жилах уже не встретишь, но галенит, сфалерит и пирит там есть.



Рис. 33. Самородное золото в кварце

А как выглядит само золото в жилах? Старатели говорят, что отличить золото от других минералов очень просто: если ты хоть немного сомневаешься в том, что перед тобой золото — то это точно не золото! И действительно, самородное золото трудно спутать с чем-либо: для него характерны яркий металлический блеск, необычайная мягкость (твердость 2,5—3), чистый золотой цвет (правда, при повышенных количествах примесей серебра у минерала появляется серебристо-белый оттенок) и очень высокая плотность (15,6—19,3 г/см^3). Золото обладает необычайной ковкостью — кусочек его величиной со спичечную головку можно вытянуть в проволоку длиной более трех километров или расплющить в прозрачный голубовато-зеленый лист площадью 50 квадратных метров (из книги С. И. Венецкого «Рассказы о металлах»).

Один из парадоксов концентрации золота состоит в следующем:

в месторождениях с «невидимым» золотом — запасы промышленные, там же, где золото «видимое», — запасов, как правило, нет, хотя оно и выглядит здесь очень эффектно: маленькие яркие блестки, чешуйки в кварцевых жилах вместе с голубовато-серебристыми кубиками галенита или блестящим темно-бурым сфалеритом. Очень редко, обычно в музеях, можно увидеть более крупные (до 23 сантиметров) изогнутые пластиночки или нити золота, а еще реже октаэдрические, несколько сплющенные, искаженные и часто сдвойникованные кристаллы. В Сибири и на Урале есть несколько месторождений, образцы золота из которых составляют украшение лучших минералогических музеев: это миниатюрные, словно отчеканенные веточки-дендриты.

Воды великих и малых рек разрушают коренные месторождения золота, перемывая многие миллионы кубических метров горных пород. Дробятся и уносятся водой огромные массы кварца, полевого шпата, слюды, а маленькие тяжелые крупинки золота оседают на дно. Вода не уносит их, а время бессильно изменить их состав (ведь они не вступают ни в какие химические реакции!), и постепенно в некоторых местах накапливаются золотоносные россыпи.

Среди тонких крупинок и чешуек здесь кое-где таятся и золотые самородки. Чаще всего это «узлы» и «узелочки» разрушенных рудных жил: на поверхности самородков можно видеть прекрасные отпечатки кристаллов кварца, кальцита или других минералов, пустотки между которыми заполнило более позднее золото. Таков, например, найденный в 1842 году на Урале в бассейне реки Миасс колоссальный (36 килограммов) самородок «Большой треугольник», хранящийся сейчас в Москве в Алмазном фонде. Самые маленькие самородки весят 5—10 граммов, а самые большие монстры (имеющие мировую известность) — до 60—70 килограммов. Самородок чемпион мира был найден в Австралии на руднике Химэнд в конце прошлого века— 112 килограммов. Всего же человечество добыло за весь исторический период немногим более 50 тысяч тонн золота. Может быть, это и не так уж много, если учесть, что в земной коре его содержится не меньше 100 миллиардов тонн (правда, на 90 процентов в рассеянном виде).

Итак, золото — фетиш, во имя которого велись войны, поднима-

лись паруса флотилий и вслед за «открывателями новых земель» шли полчища конкистадоров... Более пятисот лет золото как магнитом притягивало алхимиков. «Философский камень», превращающий все металлы в золото, найти так и не удалось, однако важные попутные открытия легли в основу современной химии. Но вот парадокс! Ядерная физика XX века, ставя перед собой более грандиозные задачи, чем превращение в золото других металлов, решила и эту: для подобных превращений одних атомов в другие нужен не столько «философский камень», сколько... атомный реактор. В реакторе атомы платины, иридия, ртути и таллия в результате бомбардировки нейтронами превращаются в радиоактивные изотопы золота. К сожалению, для промышленного получения золота этот метод пока не подходит.

В наше время ученые подошли к этому древнему металлу с технической меркой, и его свойства (инертность, высокая электропроводность и другие) позволили золоту стать непревзойденным металлом в тонком химическом машиностроении и электронике. Однако и по сей день основная роль золота — служить эквивалентом национального достояния, обеспечивать относительную стабильность государственной валюты.

Долго существовала легенда о золотом веке. Древнегреческий мыслитель Гесиод так записал эту легенду:

> «Создали прежде всего поколенье людей золотое
> Вечно живущие боги...»

И все же, как мы знаем, «золотого» века не было. Не золото, а медь и бронза дали название эпохе стремительного осознания человеком своих сил и возможностей.

Знакомство человека с медью насчитывает почти девять тысячелетий! Самые древние из известных находок этого первого в нашей истории металла датируются VIII—VII тысячелетиями до нашей эры. Правда, первые изделия свидетельствовали о том, что человек оценил прежде всего красоту и блеск металла — это были бусинки, проколки, трубочки-пронизки, украшавшие одежду. А топоры и ножи оставались каменными. Видимо, медь была еще слишком дорога.

Однако преимущество медного инструмента* позволило металлу довольно быстро вытеснить камень как орудие труда и войны. Не удивительно, что расцвет медного и затем бронзового века совпадает в историии человечества с эпохой грандиозного монументального строительства. Так, легендарная Вавилонская башня и другие гигантские ступенчатые храмы — зиккураты Вавилона и Ассирии и знаменитые египетские пирамиды, а также храмы и дворцы гомеровской Трои были выстроены главным образом медными и бронзовыми орудиями. А герои гомеровской Илиады сражались, конечно, бронзовым и медным оружием.

В Новом Свете медь была освоена значительно позднее (I тысячелетие до н. э. — I тысячелетие н. э.). Но и в великих древних государствах майя и инков расцвет бронзового века сопровождался строительством гигантских ступенчатых храмов — пирамид и дворцовых комплексов в Куско (культура инков), Паленке и Чичен-Ице (культура майя).

Вот как образно и убедительно показал роль меди на заре цивилизации римский мыслитель и ученый Тит Лукреций Кар в философской поэме «О природе вещей».

«Прежде служили оружием руки могучие, когти,
Зубы, каменья, обломки ветвей от деревьев и пламя,
После того как последнее стало людям известно.
После того была найдена медь и порода железа.
Все-таки в употребленье вошла прежде медь, чем железо,
Так как была она мягче, притом изобильней гораздо.
Медным орудием почва пахалась, и медь приводила
Битву в смятенье, тяжкие раны везде рассевая.
Скот и поля похищались при помощи меди, легко ведь
Все безоружное, голое повиновалось оружью».

Почему же именно медь определила целую эпоху человеческой истории? Конечно, по сравнению с золотом медь «изобильна» —

* В увлекательной книге Е. Н. Черных «Металл — человек — время» («Наука», 1972) приводятся данные интересного эксперимента, проведенного доктором исторических наук С. А. Семеновым, по сравнительной скорости обработки дерева кремневыми и медными орудиями. Оказалось, что медный топор эффективнее каменного в 3 раза, нож — в 6—7 раз, а сверло — в 22 раза.

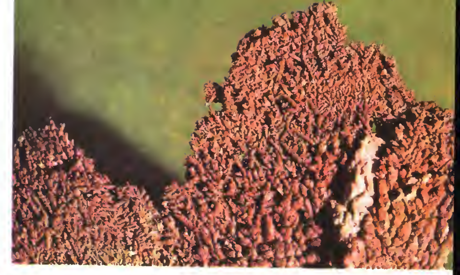


Рис. **34**. *Дендриты самородной меди*

в земной коре ее в сто тысяч раз больше. Но ведь великий мыслитель Древнего Рима сравнивает медь с железом, а не с золотом! Сейчас, когда мы знаем, что содержание железа в земной коре составляет 5,1%, а меди всего 0,007% (т. е. в 700 раз меньше!), слова медь «изобильней гораздо» могли бы вызвать улыбку превосходства с высоты современного уровня знаний. Естественно, блестящие, красочные, броские минералы меди (одна из нарядных страниц минералогии!) могли ввести в заблуждение Тита Лукреция Кара: то, что блестит сильнее, всегда создает впечатление «изобилия». Здесь важно другое — проследить, какие особенности минералогии меди способствовали ее становлению в качестве «первого металла планеты».

Только медь образует самородки весом в сотни и тысячи килограммов (а случается и в сотни тонн!). Целые стены ковкого, легкого в обработке, красноватого минерала-металла (рис. 34). Следы древних разработок месторождений самородной меди найдены в горах Дегилен (бассейн Амударьи), на островах Крит и Кипр (откуда и латин-

ское названне меди «купрум»), в Халкиде на о. Эвбее (Грецня) (по-гречески медь «халькос»).

Из-за меди Сннайского полуострова фараоны предпрнннмалн военные походы, н, возможно, медные богатства горы Марта в Подунавьн заставнлн некогда племена гуннов осесть на террнторин нынешней Венгрнн. Медные залежн на озере Мнчнган (Северная Амернка) немало способствовали былому могуществу воннственных гуронов и дакотов. И все же меди не удалось бы прнобрестн столь важного значення, если бы не особенностн ее мннералогин. Как показывает археологня, почтн одновременно с самородной медью осванвалнсь н продукты ее нзменення — малахнт и азурнт.

Малахит мы воспрнннмаем как камень «малахнтовой шкатулкн», самоцвет уральской сказкн. Насыщенная плотная зелень малахнта складывается нз бессчетных оттенков густо-зеленого, лнственно-зеленого, бнрюзово-зеленого; зелень завнвается затейливымн узорами: пеннстымн волнамн, кружевнымн фестонамн, перелнвчатым орнаментом полукружнй н овалов. Ведь нменно нз малахита носила платье Хозяйка Медной горы! Был у нее, по свндетельству П. Бажова, н свой любимый сорт — не фестончатый, а перелнвчатый, как шелк. В мнералогнческих музеях можно вндеть и такой малахнт — он состонт нз тончайших волокон — лучей, собранных в пучкн. Русская царнца пожелала не платье, не ларец, а целую комнату нз малахнта! Тысячн посетнтелей Эрмнтажа н сейчас любуются этнм малахнтовым чудом — шнрокне пнлястры от пола до потолка, нскусно сложенные нз малахнтовой мозанкн, создают такое ощущенне, будто вы попалн внутрь малахнтовой шкатулкн.

Между тем малахнт нмеет весьма разлнчный облнк. Далеко не всегда он выгляднт так нарядно, значнтельно чаще это землистые массы, порошковатые корочкн н налеты на самородной медн. Как же малахнт стал рудой? В виде корочек на мелкнх самородках медн малахит случайно попал в плавку. Когда же выяснnлось, что нз этого ярко-зеленого мннерала легко получается прекрасный металл, разрабатывать сталн собственно малахнтовые залежи.

Отметнм еще одну особенность мннералогнн медн, важную для нстории ее освоення: в самородной меди н малахнте сконцентрнрована сравннтельно малая часть металла. Основная масса медн в

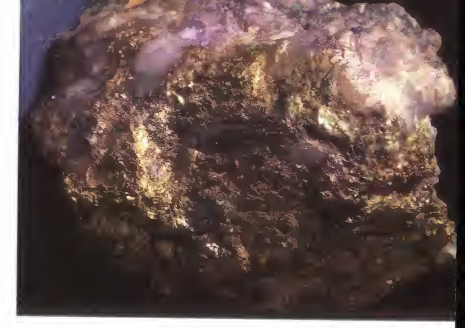


Рис. **35**. *Халькопирит с пирротином*

земной коре представлена сульфидом меди (и железа) — халькопиритом — тяжелым, золотисто-желтым минералом с сильным металлическим блеском (рис. 35). Медь словно просвечивает сквозь его кристаллическую решетку!

Вместе с халькопиритом нередко наблюдаются другие медьсодержащие сульфиды, главным образом блеклые руды (группа темно-серых, иногда красноватых и в целом оправдывающих свое название минералов) и борнит. Борнит же — самая нарядная из медных руд: коричневато-медный цвет борнита виден только в свежем изломе, обычно же минерал покрыт яркой пленкой побежалости, в которой, как в пленочке нефти на воде перемежаются малиновый, бирюзовый, латунно-желтый и ярко-синий цвета в сочетании с тусклым полуметаллическим блеском. В верхней части сульфидных месторождений образуются новые, более богатые медные минералы — вторичные



Рис. **36**. *Галенит*

сульфиды: темно-серый халькозин (содержит до 80% меди) и индигово-синий ковеллин.

Как считают археологи, трудности переработки сульфидных руд были непреодолимы на первых этапах освоения меди. Большинство первичных сульфидных месторождений меди сверху покрыты яркой «шляпой» вторичных окисленных медных руд. Именно в этой зоне встречаются малахит, азурит и другие более богатые медью и легкие для переработки окислы меди — кирпично-красный или красный куприт и землисто-черный тенорит. Куприт иногда образует очень красивые полупрозрачные кристаллы, отливающие на гранях свинцово-серым полуметаллическим блеском, а иногда и более ярким алмазным. Вот эти-то окисленные верхние части медных месторождений и служили основной металлургической базой древности. А яркие вторичные



Рис. **37**. *Сфалерит*

карбонаты — малахит и азурит — были не только рудами, но и первыми поисковыми минералами.

Природа все время словно вела человека за руку в глубь месторождений по ступенькам трудности их освоения — от самородной меди к малахиту и азуриту, к окислам меди и к более глубинным и мощным сульфидным рудам — основным поставщикам меди и по сей день.

Но и на этом не исчерпаны особенности минералогии месторождений меди: совместно с ней находятся обычно и те металлы, добавка которых значительно улучшает свойства меди как металла. При кристаллизации растворов, несущих металлические ионы, сера связывает в минералы не только медь, но и свинец и цинк. Возникают полиметаллические (т. е. многометаллические) жилы. Вместе с халькопи-

ритом в них встречаются сульфиды свинца (галенит), цинка (сфалерит) и других металлов.

Голубовато-серые кубы галенита покрыты ступеньками спайности, по которым они легко раскалываются на более мелкие сверкающие кубики (рис. 36). Но значительно чаще галенит образует сплошные плотные тонкозернистые агрегаты с тусклым металлическим блеском — свинчак. Сверкающий алмазным блеском сфалерит поражает разнообразием окрасок: почти бесцветные и медово-желтые кристаллы при больших содержаниях железа сменяются темно-бурыми и черными (рис. 37).

Из первичных месторождений свинец, цинк и другие металлы вместе с медью переходили в «шляпу» уже в виде других вторичных соединений: каламина (галмея), смитсонита (минерал цинка), церуссита (минерал свинца). Естественно, при разработке таких месторождений в плавильные печи не могли не попасть кусочки «посторонних» минералов. И — о чудо! Медь с примесью цинка превращалась в золотоподобную очень пластичную латунь, полюбившуюся египетским ювелирам; примеси свинца и сурьмы придавали мягкой меди твердость бронзы. Это и упрочило на тысячелетия значение меди.

Древние бронзы Египта, Урарту, Ассирии представляли собой сплав меди со свинцом или сурьмой, нередко с добавкой мышьяка. Мышьяк и сурьма отчасти попадали в плавку из блеклых руд, встречающихся вместе с халькопиритом. Не исключено, что примесь этих элементов объясняется заведомой добавкой таких распространенных мышьяковых минералов, как оранжево-красный реальгар (по-арабски «рудная пыль») и золотистый аурипигмент. По мнению известного металлурга В. А. Пазухина, исследовавшего древние бронзы, реальгар, который обычно встречается в природе вместе с аурипигментом, мог добавляться в плавку в качестве добавки. Огненно-красные минералы с незапамятных времен считались «колдовским зельем» в огненном и таинственном ремесле древнего кузнеца. Тем более, что польза от такого «колдовства» была самая реальная.

Но вот в городке Бриндизи на берегу Адриатического моря научились делать великолепные сплавы меди с оловом, которые стали во всем мире называть бронзой («медью из Бриндизи»). Однако олова было очень немного, и корабли греков и финикийцев потянулись к далеким островам Касситеридам за оловянным камнем — кас-



Рис. 38. Натечный касситерит

ситеритом. Острова эти уже давно называют Британскими, но блестящий хрупкий коричневый минерал касситерит, образующий красивые кристаллы — четырехгранные призмы с пирамидальными головками по концам — до сих пор остается почти единственной рудой олова. Касситерит встречается и в виде натечных (колломорфных) образований; рисунок этих оловянных руд подобен рисунку малахита (рис. 38). Такой касситерит называют «деревянистым оловом».

По мере того, как бронзы стали делать на основе олова, свинец и сурьма постепенно «переквалифицировались». Свинец получил мирную профессию: каменные плиты античных сооружений часто скреплялись свинцовыми штырями. Долгие века свинец был самым мирным металлом, пока изобретение огнестрельного оружия не призвало

его «под ружье» — из свинца стали отливать пули для мушкетов. Свинец для этих целей добывали не только из руд, нередко разбирались древние храмы и свинцовые штыри шли на переплавку.

Сурьмой же, как известно, сурьмились восточные красавицы и римские матроны (правда, мода на черные ободки вокруг глаз считалась устаревшей уже в Древнем Риме).

Кроме бронзы и латуни еще с давних времен использовали другой тип медных сплавов. Если латунь по внешнему виду имитирует золото, то эти сплавы очень похожи на серебро. Так, в Китае еще до нашей эры выплавляли «пектхонг» (или «пекфонг»). Этот сплав состоял из меди, никеля и цинка. Никель, отбеливая красноту меди, придавал металлу благородный облик серебра. В XIX веке в Европе фабриканты столового серебра объявили конкурс на создание металла, не отличимого внешне от серебра. Победили французские инженеры Майе и Шорье, создавшие на основе древнего китайского рецепта сплав мельхиор. Канадский металлург А. Монель предложил рецепт «натурального сплава». В богатых канадских рудах сульфид никеля пентландит и сульфид меди халькопирит образуют тесные срастания, и разделить медь и никель необычайно трудно. А. Монелю пришла счастливая идея, необычайно простая, как все гениальное — не разделять эти металлы, выплавлять их вместе! Так родился новый сплав монельметалл — один из главных сплавов химического машиностроения.

КАПНУВШИЙ С НЕБА

Железиые рудокопи доставляют человеку превосходиейшее и зловредиейшее орудие. Ибо сим орудием прорезываем мы землю, сажаем кустарники, обрабатываем плодовитые сады и, обрезая дикие лозы с виноградом, поиуждаем их каждый год юиеть. Сим орудием выстраиваем домы, разбиваем камии и употребляем железо иа все подобиые надобиости. Но тем же самым железом производим браии, битвы и грабежи и употребляем оиое ие только вблизи, ио мещем окрылеииое вдаль, то из бойииц, то из мощиых рук, то в виде опереииых стрел Самое порочиейшее, по миению моему, ухищреиие ума человеческого. Ибо, чтобы смерть скорее постигла человека, создали ее крылатою и железу придали перья. Того ради да будет вина приписаиа человеку, а ие природе.

ПЛИНИЙ СТАРШИЙ

Золото и медь сами блеснули человеку из недр земли, но железо скрывалось еще несколько тысячелетий. Таинственный волшебный металл метеоритов (на языке коптов «би-ни-пет» — небесный; по-гречески «зидейрос» — звездный; по-армянски «яркат» — капнувший с неба) ценился в древнем мире дороже золота. Сохранился папирус одного из египетских фараонов с просьбой, обращенной к правителю хеттов, поменять золото, которого в Египте «столько же, сколько песка в пустыне», на железо. В «Одиссее» Гомера рассказывается, что победителю игр, устроенных Ахиллесом, была назначена награда — кусок золота и кусочек железа... Или вот как похваляется матери маленький Гермес, покровитель бродяг, торговцев и жуликов (тоже со слов Гомера):

«Тотчас отправлюсь в Пифон, проломаю дворцовую стену,
Вдоволь котлов и прекрасных треножников там наворую,
Золота вдоволь себе наберу с искрометным железом».

По его тону ясно, что железо для него не металлолом! Железное обручальное кольцо — знак крепкого, неразрывного союза. Такие кольца носили древние римляне. Римлянки, правда, уже тогда предпочитали золотые!

Немало заржавело колечек и амулетов, пока люди поняли, что железо — не только небесный, но и самый земной металл! (славянское «зализо» происходит уже от корня «лез» — «лезвие».) 755 000 000 000 000 000 тонн железа содержит земная кора! Это 5,1% массы земной коры. Но «угадать» металл в минералах железа не так-то просто. Судите сами.

Вот минерал, который встречается чаще всего, — бурый железняк, лимонит. Славяне звали его болотной рудой, а англичане — луговой. В болотах и мокрых лугах, а то и просто во влажной почве из подземных источников возникают землистые ржаво-рыжие катышки, похожие то на коконы бабочек, то на мелкие птичьи яйца, а то и на сосульки. Это легкоплавкая окисная руда — железо из нее получается проще всего.

Самый красивый рудный минерал железа — гематит. Коричневато-серый и блестящий, он неожиданно отливает кроваво-красным (второе название плотного гематита — кровавик). Кровавик — своеобразный поделочный камень, похожий на полированный металл. Тонкие пластинки гематита могут срастаться как лепестки розы; эти сростки так и называют «железные розы».

Самая необычная на вид железная руда — сидерит (бурый шпат). Больше всего он похож на крупнозернистый желтоватый или коричневатый мрамор. Трудно поверить, что из него получается черный металл. Железо в нем составляет почти половину и руда эта очень хорошая, но малораспространенная. Грани кристалликов сидерита в отличие от кальцита не прямые, а вогнутые — седловидные. Отличает их также большой удельный вес и сильный перламутровый блеск (в Казахстане сидеритовые руды называют даже жемчужными!).

А самая важная и интересная железная руда — магнетит, природный магнит. Этот камень, по преданию, нашел греческий пастух Магнус, его посох с железным наконечником притянула гора. Магнетит тоже темно-серый и очень тяжелый. Часто можно встретить и кристаллы магнетита — октаэдры.

Самое большое в мире месторождение железа Курская магнитная аномалия ($^2/_3$ железных руд всего мира) сложено магнетитовыми и гематитовыми рудами.

Очевидно, естественный магнетизм этого минерала навел людей на идею создания компаса. Изобретенный в Китае первый компас имел вид маленькой тележки, на которой сидел железный человечек и указывал протянутой рукой на юг. Китайский эпос повествует, что изобретение компаса решило исход длительной войны (которую историки сравнивают с Троянской!) Желтого императора Хуан-ди со злым божеством Чи-ю, окутавшим поле боя сплошной пеленой тумана. Этот завершающий эпизод войны выглядел так:

«Вперед! На врага! — громко закричал Желтый император, стоя на боевой колеснице и воинственно размахивая мечом.

— Вперед! На врага! — вторили ему добрые и злые духи всех четырех сторон, и крики их сливались в единый мощный клич.

Рычали тигры и медведи (они тоже были в войске Хуан-ди — *Т.З.*) все хотели поскорее вырваться из окружения страшного, опасного тумана.

Вперед! Вперед! Однако они бились очень долго, кидаясь то туда, то сюда, но по-прежнему оставались в плену безбрежного белого тумана.

Добрые и злые духи четырех сторон не могли ничего поделать, не знал выхода и Хуан-ди; это был словно не туман, а огромное покрывало из белого полотна, накрывшее и небо, и всю землю.

Как раз когда Желтый император в унынии хмурил брови, один из его сановников по имени Фэн-хоу, маленький, необычайно умный старик, сидел на боевой колеснице, слегка прикрыв глаза, и, казалось, дремал. Когда Хуан-ди спросил у него, почему он спокойно дремлет в самое напряженное время битвы, Фэн-хоу вдруг открыл глаза и четко произнес:

— Разве я сплю? Я придумываю выход!

И действительно, этот маленький старик думал, как вырваться из тумана. Почему ковш Большой Медведицы всегда показывает на север, независимо от времени и всяких изменений? Вот если бы изобрести такую штуку, чтобы куда бы ты ни повернулся, на восток или на запад, она всегда указывала бы одно направление. А раз будет известно одно направление, то можно будет определить и остальные три, — разве это не будет решением? Думал он, думал — и вдруг придумал замечательный выход. Он напряг все свои необыкновенные силы и способности и смастерил «колесницу, указывающую на юг».



Рис. **39**. *Метеоритное самородное железо*

Впереди на колеснице стоял маленький железный человечек с рукой, протянутой как раз на юг. Благодаря этому Желтый император и смог вывести свои войска из сплошного тумана».

А вот самый богатый минерал железа — чистое самородное железо в отличие от меди никогда не служило рудой. Попытки выковать оружие из «небесного» железа, впрочем, известны в истории. Такой меч заказал как-то бухарский эмир, но ему пришлось казнить своих лучших оружейников: из-за большой примеси никеля металл не поддавался горячей ковке. Тем не менее у властителя индийского княжества Джехангира в XVII веке были две сабли, кинжал и наконечник пики из метеоритного железа. Очень интересно посмотреть на такое железо в минералогических музеях — ведь чаще всего это космический

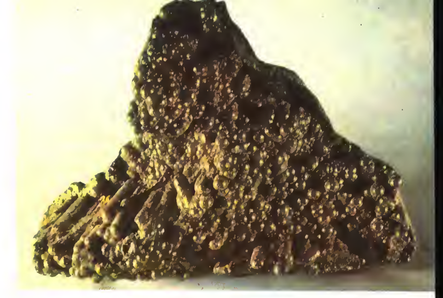


Рис. **40**. *Натечный марказит*

гость. Метеоритное железо называется камасит. В нем присутствует весьма значительная примесь никеля (до 7%), и в виде «целых» осколков метеоритов оно действительно напоминает мягкую сталь (светло- и темно-серый минерал с металлическим блеском, с поверхности часто покрыт корочкой окалины). Но на свежей полированной поверхности при травлении выявляется очень своеобразная картина — сетка штрихов, пересекающихся в трех направлениях (под углом 60°). Характерная для метеоритов структура возникает при распаде закристаллизовавшегося при высоких температурах твердого раствора на две системы самостоятельных пластинчатых кристаллов — железистого темно-серого камасита и серебристо-белого богатого никелем тэнита.

В некоторых метеоритах на фоне самородного железа выделяются золотисто-зеленые кристаллы оливина (рис. 39). В очень небольших количествах самородное железо образуется и на земле (тогда оно называется теллурическим железом или ферритом). Это мелкие выделения в темных ультраосновных изверженных породах. В Гренландии в базальтовых лавах встречались не только блестки, зерна, но и более крупные выделения, иногда целые глыбы. Вероятно, это самородное железо могли использовать эскимосские рыбаки и охотники.

А сульфиды? Существуют ли сульфидные руды железа? Сульфиды железа (колчеданы) — пирит и марказит — одни из самых распространенных минералов. Пирит встречается и в магматических породах, и в рудных жилах, и в осадочных образованиях. Всем знакомы золотистые пропластки, тонкие прожилки, а также соломенно-желтые кубические кристаллы пирита, часто с четкой, параллельной граням штриховкой. Реже пирит образует красивые кристаллы с двенадцатью пятиугольными гранями и очень звучным названием — пентагон-додекаэдры. Быть может, многие любители минералов неоднократно встречали и марказит: в угольных шахтах попадаются своеобразные, словно позолоченные, обломки ископаемых деревьев, в фосфоритовых карьерах (например, в Александровском под Москвой) можно отыскать раковину гигантской улитки—аммонита, выложенную внутри латунно-желтым марказитом. Но чаще всего марказит встречается в виде шаровидных радиально-лучистых конкреций в натечных образованиях (рис. 40) или в виде срастаний сложных копьевидных кристаллов.

И пирит и марказит являются рудой. Основное значение имеет пирит. Он образует крупные жилы и линзы, состоящие сплошь из колчедана. Но добывают из таких руд не железо, а... серную кислоту. Серный колчедан — основное сырье для получения этого важного химиката. Нередко пириты содержат ценные примеси: медь, цинк, золото, кобальт, никель и даже редчайший элемент — таллий. В процессе получения кислоты эти примеси попутно улавливаются.

СЕРЕБРО БЛАГОРОДНОЕ, «СЕРЕБРО» ЖИДКОЕ И «СЕРЕБРИШКО» С РИО-ДЕЛЬ-ПИНТО

Семь металлов создал свет
по числу семи планет
Дал нам космос на добро
Медь, железо, серебро,
Злато, олово, свинец...

Из записок алхимиков
(перевод Н. Морозова)

Торжествующий крест средневековья перечеркнул античную культуру. Водоворот истории захлестнул не только античные храмы вместе с населявшими их богами, в нем надолго скрылись и вершины греческой и латинской науки. В бурных волнах этого потопа уцелели лишь наиболее стойкие достижения цивилизации. И в первую очередь семь классических металлов: золото, медь, железо, серебро, свинец, олово и ртуть.

Серебро. К сожалению, о находках серебра археология имеет меньше сведений, чем о золоте, меди и железе. Абсолютный возраст наиболее древних серебряных изделий (мелких бусинок и прошивок) около 4000 лет. Известно, что в Египте «белое золото» ценилось дороже, чем обычное желтое. Так, в богатейшей гробнице одной из египетских цариц среди золотой посуды и многочисленных золотых ожерелий, колец и браслетов было найдено всего несколько серебряных браслетов с бирюзой и сердоликом. Не больше серебра и в знаменитой гробнице Тутанхамона. Финикийцы обнаружили серебро в Иберии (современной Испании) и буквально накинулись на него. Стремясь вывезти как можно больше «белого золота», эти предприимчивые открыватели снимали с кораблей свинцовые якоря, заменяя их серебряными. После покорения Карфагена и Иберии потоки драгоценного серебра хлынули в Рим.

Дыханием тысячелетий веет от самого слова «серебро». Серп (по-ассирийски «Сарпу») — знак Луны (и знак серебра, дошедший до алхимиков) и символ «пышнодарящей» богини Иштар (Астарты) — повелительницы плодородной природы и любви. Как Солнце — Атон овеществлялось в Египте в золоте, так в Ассирии и Вавилонии

Луну и богиню Иштар символизировало серебро. Огромное солнце, заливая долину Нила, само спускалось к земле и людям. Луна сияла из недоступной звездной вышины, и ассирийцы, устремляясь к престолу своих богов, воздвигали ступенчатые башни — зиккураты. По величине они лишь немногим уступали пирамидам. Но пирамиды фараоны строили для себя лично, для своей нетленной мумии и вечной души Ба. Зиккураты же были общественными сооружениями, они воздвигались, достраивались и реставрировались из поколения в поколение. Зиккурат богини Иштар высился в Ассирии в Ниневии — пышной столице Ашшурбанапала. Еще раньше — в Вавилоне ворота богини Иштар были облицованы многоцветными глазурованными кирпичами и украшены пятьюстами семидесятью пятью рельефами фантастических зверей. Ворота вели в город Вавилон, где поднимался самый грандиозный зиккурат — легендарная «Вавилонская башня» («Э-темен-анки») — «Храм краеугольного камня неба и земли». В книге К. Керама «Боги, гробницы, ученые» дано описание «Вавилонской башни». Ее составляли семь башен, поставленных друг на друга (чем выше, тем размер башни был меньше). Основание башни было шириной девяносто метров, столько же метров она имела в высоту... Самый верхний пятнадцатый этаж был занят храмом бога Мардука (здесь покоилась колоссальная золотая статуя бога весом более 23 700 килограммов). Покрытый золотом, облицованный голубым глазурованным кирпичом, этот храм был виден издалека и как бы приветствовал путников. На строительство «Вавилонской башни» пошло 85 миллионов кирпичей!

Подобные зиккураты были и древними обсерваториями. Вавилонские астрономы — жрецы богини Луны — так точно вычислили время ее обращения вокруг Земли еще 3000 лет тому назад, что их современные коллеги, пользуясь точнейшими приборами, скорректировали этот результат лишь на 0,4 секунды! Жрецы, вероятно, и присвоили имя «Сарпу» и своему божеству, так таинственно менявшему форму в отличие от всегда круглого солнца, и серебристо-белому, но темнеющему со временем металлу.

В поэме об ассирийском бого-человеке Гильгамеше повествуется, в частности, о всемирном потопе. Боги, желая уничтожить людское племя, предупредили во сне о катастрофе одного единственного пра-

ведника. «Ассирийский Ной» — Утнапиштим — построил корабль. Вот что он рассказывает.

«Нагрузил его всем, что имел я,
Нагрузил его всем, что имел серебра я,
Нагрузил его всем, что имел я злата,
Нагрузил его всем, что имел живой я твари,
Поднял на корабль всю семью и род мой,
Скот степи, зверей степи, всех мастеров я поднял».

Может быть, для спасения от потопа и были положены две ладьи (одна серебряная, вторая медная) в усыпальницу царицы шумеров Шуб-ат (2500—3000 лет до н. э.). Возможно, получение серебра, как и изобретение колеса и арки, досталось нам от шумеров — этого удивительного народа древности.

Взглянем на серебро глазами сегодняшнего исследователя. Серебро — благородный металл, стойкий против действия щелочей. Впрочем, «благородство» серебра несколько относительно — в отличие от золота оно охотно соединяется с такими активными реагентами, как сера и хлор. Все знают, что столовое серебро постепенно темнеет. По химическим и физическим свойствам серебро располагается между медью и золотом. Среди десятка минералов серебра только два — самородное серебро и природный золото-серебряный сплав электрум — являются минералами-металлами.

Самородное серебро очень редко образует россыпи (все они отработаны еще в древности), значительно чаще оно подобно самородной меди встречается в зоне окисления полиметаллических месторождений. Здесь серебро имеет весьма впечатляющую форму. Еще в 1661 г. Роберт Бойль упоминал о найденном им в Рудных горах серебре, которое в форме «травы» длиной с палец вырастает из минералов. Серебряные нити, напоминающие растения, «прорастающие» на других минералах серебра, украшают многие минералогические музеи. Известны даже закручивающиеся кольцами и переплетающиеся серебряные «волосы» длиной до нескольких сантиметров.

Иногда самородное серебро встречается и в виде массивных самородков: глыба серебра весом около 300 килограммов была извле-

чена в 1539 году в Эльзасе; самый большой самородок — пластина весом 1420 килограммов была найдена в Чили в Чаньярчилло. Мелкие зернышки самородного серебра, встречающиеся в Березовских рудниках на Урале, не всегда заметны — с поверхности они обычно покрыты черной или темно-серой пленкой, и лишь в свежем срезе проглядывают серебристый белый цвет и металлический блеск минерала. На долю самородного серебра приходится 15—20% его общей добычи. При наличии примеси золота (порядка 10%) минерал называется кюстелитом, при дальнейшем увеличении содержания золота возникает золотистый естественный сплав электрум, применявшийся в древности и в чистом виде и, вероятно, для получения отдельно золота и серебра.

Приметный, запоминающийся облик имеют и «красные серебряные руды» — сложные сульфосоли серебра, содержащие помимо серебра и серы мышьяк (прустит) или сурьму (пираргирит). В некоторых месторождениях они являются важными минералами промышленных руд. Это всегда желанные экспонаты любой коллекции. Густо-красные блестящие рубиновые на просвет кристаллы прустита имеют сложную эффектную огранку: короткая шестигранная призма с обоих концов заострена в виде длинных пирамидок. К сожалению, этот красивый минерал очень хрупок и мягок (твердость 2). Пираргирит имеет весьма схожую огранку и тот же алмазный блеск, но, как правило, менее прозрачен и окрашен чуть темнее.

Наиболее распространенный рудный серебросодержащий минерал — сульфид серебра аргентит («серебряный блеск»). Он встречается в гидротермальных месторождениях вместе с сульфидами свинца и цинка. Определить его нелегко: вкрапления неправильной формы, прожилки и примазки, сплошные плотные выделения свинцово-серого цвета очень легко пропустить. Несовершенные по форме кубические и куб-октаэдрические кристаллики очень редки. Обратить более пристальное внимание на этот материал помогает часто сопровождающее его черное сажеподобное вещество («серебряная чернь») — порошковатая разновидность аргентита. При значительных скоплениях чернь тоже является рудой.

Рудные минералы серебра встречаются не часто, запасы металла в них невелики, и поэтому «львиная доля» мировой добычи серебра

падает на получение его из полиметаллических руд, в частности из сульфида свинца — галенита, где серебро составляет малую (десятые и даже сотые доли процента), но постоянную примесь.

Еще в раннем средневековье из полиметаллических месторождений разрабатывались в основном серебряно-свинцовые; галенит в них обогащен серебром, и его-то и добывали в первую очередь. Об этом позволяют судить остатки древних рудников и плавильных печей Карамазара в Средней Азии.

Две «профессии» серебра связаны с его принадлежностью к семейству благородных: во-первых, из серебра изготовляли личные украшения, знаки власти, предметы религиозного культа, домашнюю утварь и посуду, серебром отделывали парадное оружие; во-вторых, серебро — это деньги. Серебро и золото часто дублируют и дополняют друг друга: примесь серебра делает золото более твердым, а позолоченное серебро выглядит более нарядно. Относительная стоимость серебра и золота во всех античных государствах соответствовала 1:10. Более дешевое и прочное серебро изрядно потеснило золото из бытовой и религиозной утвари. Способность серебра прекрасно принимать обработку донесла до нас не только искусство ювелиров и торевтов* древности, но и черты облика, одежды и быта ушедших народов. Вспомним хотя бы всемирно известную скифскую Чертомлыкскую вазу со сценами жизни кочевников.

Столовое серебро в XVIII—XIX веках становится как бы визитной карточкой владельца — символом респектабельности. «На серебре, на золоте едал», — говорит Фамусов о своем вельможном дяде. Екатерининский вельможа граф Орлов мог накормить на серебре изрядное общество: его серебряный сервиз состоял из 3275 предметов, на изготовление его пошло около двух тонн серебра.

Серебряные деньги как разменная монета меньшей стоимости вытеснили золото из повседневного обихода и в сфере денежного обращения. В нашу денежную систему с XIII века вошло слово «рубль» — отрубленный от целого слитка брусок серебра весом около 200 граммов.

---

* Торевтика — искусство рельефной обработки металла, например, ваз, доспехов и пр.

Древнейшее применение серебра для получения «святой воды» казалось мистическим: вода в серебряной посуде не заражается бактериями. Отсюда пошел обычай кидать в колодцы серебряные монеты и пить из серебряной посуды. Оказывается, вода в такой посуде представляет очень слабый раствор серебра (коллоидальное серебро), обладающий даже при чрезвычайно слабой концентрации ионов серебра сильными бактерицидными свойствами. Известно, например, что во время завоевания Александром Македонским Средней Азии, после долгих лет походной жизни в его армии начались эпидемии кишечных болезней. Офицеры, пившие из серебряных кубков, страдали значительно меньше, чем солдаты.

Это свойство серебра также используется по сей день — воду «серебрят» на больших океанских кораблях, пропуская переменный электрический ток через воду между серебряными электродами. «Серебряную» воду пьют в космосе космонавты. Но «серебрение» воды — это первые шаги элемента 47 в фармакологии. В медицине издавна применялись и другие соединения серебра, такие, скажем, как азотнокислое серебро — ляпис (алхимики называли его «ляпис инферналис» — «адский камень»). Среди современных медицинских препаратов известны протаргол, протаргентум, аргин, соларгентум, аргирол. Известное лекарство колларгол содержит 78% серебра.

Есть у серебра совершенно особое, уникальное свойство — звонкость. «Серебряный колокольчик» — символ мелодичного чистого звона. Малиновый звон церковных колоколов объяснялся добавкой серебра в колокольную медь. Струны некоторых инструментов содержат до 80% серебра. И даже стеклянные елочные колокольчики несут тончайший слой серебра — здесь оно не столько для звона, сколько для зеркального блеска.

Мы встречаемся с серебром каждый день, глядя в зеркало. Это тоже древнейшая служба серебра (правда, долгое время зеркала были металлические полированные). С появлением стекла серебро на время уступило место амальгаме олова, но ненадолго — на наши зеркала и елочные украшения нанесен тончайший слой серебра.

Художник Дагер был первым, кто использовал свойство солей серебра реагировать на свет. Сегодня одним из главных потребителей элемента 47 является кино- и фотопромышленность (например,

в США расходуют до 800 килограммов серебра в год). Примесь галогенидов серебра в органических стеклах позволяет делать удивительные — темнеющие на солнце и светлеющие в тени — стекла защитных очков.

В последнее время все большее количество благородного металла требует техника: высокая электропроводность серебра (наилучшая из всех металлов при комнатной температуре) позволяет использовать его для проводки в точных приборах и для наиболее ответственных электроконтактов. Высокочастотная электротехника (токи высокой частоты распространяются в поверхностном слое металла) широко использует серебряную проволоку. Не обходится без серебра и атомная техника: высокая способность серебра приобретать радиоактивность под действием нейтронов применяется для индикаторов нейтронного излучения.

С давних времен известен и другой «серебристый» минерал — **ртуть**. «Жидкое серебро», «серебряная вода» называли его в те далекие времена. Это удивительный, единственный жидкий при обычных условиях металл. Подвижность ртутных капель столь велика, что на чешском языке ртуть так и называется «живая вода». Но если заморозить ртуть, то при температуре минус 38,9°С она превратится в твердые ромбические, очень тяжелые кристаллы синевато-серого цвета. Облик природного сульфида ртути — минерала киновари резко отличается от привычного облика большинства других сульфидов. Темно-красные (брусничного оттенка) полупрозрачные кристаллы имеют алмазный блеск. По форме это сплюснутые ромбоэдры или толстые трехгранные таблички, сросшиеся в плоские друзы (рис. 41). Обычно киноварь слагает сплошные тонкозернистые массы или образует порошковые налеты. Киноварь выпадает из водных растворов при сравнительно невысоких температурах, вместе с ней в месторождениях часто встречаются антимонит, сфалерит и другие сульфиды.

Антимонит, пожалуй, самый элегантный сульфид. Изящные друзы длиннопризматических, часто чуть изогнутых кристаллов, легкие изгибы которых повторяет глубокая штриховка вдоль граней, создают впечатление законченных скульптурных композиций (рис. 42). В зоне окисления при разложении киновари могут образоваться капельки

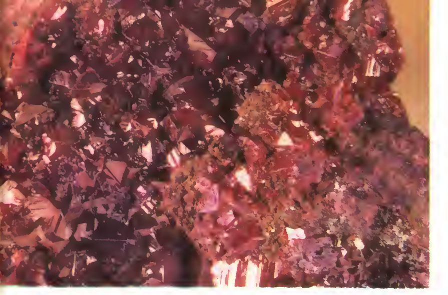


Рис. **41**. *Киноварь*

самородной ртути. Благодаря пористости пород зоны окисления эти капельки стекаются в значительные по размерам скопления (правда, до ртутных озер, подобных «Озеру Горных Духов» из рассказа И. Ефремова, дело не доходит).

С давних времен и по сей день киноварь является единственным рудным минералом ртути. Известные классические месторождения ртути (Альмаден в Испании, Хайдаркан в Средней Азии и Никитовка на Украине) разрабатываются чуть ли не с каменного века — во всяком случае, в старинных забоях находят каменные инструменты горняков.

В древности из киновари не только получали ртуть, ее использовали и как красную краску.

Будучи металлом, ртуть растворяет золото и серебро. Этот жидкий раствор (амальгама) наносится на очищенную поверхность металла (например, меди); после нагревания ртуть испаряется, и медь оказы-



Рис. **42**. *Антимонит*

вается покрытой тончайшей пленкой драгоценного металла. Применялась ртуть и для извлечения золота из коренных руд. Амальгамы для золочения и серебрения металлических поверхностей применяются и сейчас. Ртутная соль гремучей кислоты — гремучая ртуть — употребляется для изготовления детонаторов. Ртутно-кварцевые лампы — источник ультрафиолетового света, необходимого в медицине, технике. Трубочки люминесцентных ламп также заполнены разреженными парами ртути в смеси с аргоном.

Но с тех пор как был изобретен ртутный термометр, пожалуй, главная и наиболее ответственная работа ртути — определять температуру. Ртутные столбики в медицинских градусниках знакомы нам с детства; существуют еще и всевозможные лабораторные и технические термометры. Внутри тончайшей калиброванной капиллярной трубочки движущийся столбик дистиллированной ртути неуклонно и беспристрастно фиксирует температуру среды, в том числе

и температуру вашего тела. Но разбился градусник — и крошечные ртутные шарики разбегутся по полу, а собрать их, слить в большую каплю — очень трудно. (Пары ртути ядовиты, оставлять ее капли нельзя!)

Вот за это свойство — необычайную подвижность — алхимики и наградили ртуть символом Меркурия — самого подвижного и деятельного божества из римского пантеона. Алхимики считали ртуть матерью всех металлов. В этом была своя логика: ртуть так относится к металлу, как вода ко льду; если вода — жидкий лед, то ртуть — жидкий металл, а если уплотнить ее до предела — получится желанное золото — рассуждали они.

Но от этой стройной гипотезы пришлось отказаться. Испанские корабли доставляли с берегов колумбийской реки Рио-дель-Пинто еще одно «серебро», даже не серебро (по-испански «плата»), а так, «серебришко» — платину. **Платина** с Рио-дель-Пинто оказалась воистину бесовским порождением — плотнее и тяжелее золота, да и расплавить ее не удавалось. (И не мудрено! Температура плавления платины 1773,5°C).

Однако вскоре выяснилось (честь открытия принадлежала фальшивомонетчикам), что благодаря высокой плотности платину можно подмешивать в золото и привозить в казну не чистое, а платинированное золото. «Гадкий» металл, засоряющий золото, подвергался жестоким преследованиям испанской короны. Королевский указ повелевал — платину впредь в Испанию не ввозить, при разработке россыпей в Колумбии тщательно отделять ее от золота и топить в глубоких местах речки, теперь уже называвшейся Платино-дель-Пинто. А ту платину, которая уже привезена в Испанию, всенародно и торжественно утопить в море.

Только через 43 года король отменил этот закон, сообразив, что сам он тоже может увеличить свою казну тем же способом. Но, увы, к тому времени не менее четырех тонн драгоценного металла было утоплено.

Освоить строптивый тугоплавкий металл удалось еще не скоро — ни одна из существовавших в то время печей не могла нагреть платину до температуры плавления. Обходный путь к обработке платины нашел в 1826 г. петербургский инженер П. Г. Соболевский, основа-

тель современной порошковой металлургии — под прессом платина принимала форму уже при температуре 1000°С.

И снова загадка истории! Вождь ацтеков Монтесума еще в 1520 году прислал в подарок испанскому королю полированные платиновые зеркала. Значит индейцы доколумбовой Америки умели обрабатывать платину более чем за 300 лет до европейцев! А, может быть, и раньше...

В природе платина встречается исключительно в самородном состоянии. Платина с примесью железа и малых металлов платиновой группы (иридия, родия, палладия), называется поликсен (погречески — «много чужих»). В россыпях платина образует мелкие зерна, самородки очень редки(от 5 до 400 граммов, самые крупные до 8—9 килограммов). В коренных породах изредка находили и мелкие кубические кристаллы платины. Цвет платиновых самородков — от серебряно-серого до стально-серого (чем больше железа, тем темнее), минерал ковкий, но довольно твердый (твердость 4—4,5). Вкрапленность коренной платины приурочена к ультраосновным породам, где она встречается вместе с хромитом, оливином, хромдиопсидом.

Платина обладает замечательным сочетанием свойств: по химической стойкости она не уступает золоту, ее электро- и теплопроводность чуть меньше, чем у серебра, а по твердости, механической прочности и жаропрочности она далеко превосходит все благородные металлы. Благодаря этим свойствам платина широко применяется для изготовления химической посуды и аппаратуры, а также в качестве катализатора химических реакций, например при заводском получении азотной кислоты.

Необыкновенным свойством обладают стекла с тончайшим слоем платины — односторонней прозрачностью, т. е. с освещенной стороны они выглядят как обычное зеркало, а с теневой — совершенно прозрачны. Есть у платины еще одна очень ответственная служба — в палате мер и весов. В Ленинграде в сейфах Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии им. Менделеева хранятся платино-иридиевые эталоны килограмма и метра.

Трудоемкая добыча платины обусловливает ее высокую стоимость, поэтому платина дороже золота. Это ограничивает ее более широкое применение в технике.

Как же сложилась судьба «сатанинских», судя по названиям, металлов — кобальта, никеля и «крадущего овец» **вольфрама**?

Представьте себе вольфрамовый рудник. Днем все было спокойно. Гиганты-машины хватали ковшами-пастями куски руды. Крутилась карусель груженных рудой и опустошенных БелАЗов и КрАЗов в непрерывном механическом ритме (заводная игрушка великана!). Вечером тревога: исчезло рудное тело — не видна тонкораспыленная вкрапленность рудного минерала вольфрама шеелита. На помощь приходит физика — шеелит засветился в ультрафиолетовом свете люминесцентной лампы. Стена забоя расцвела светящимися ярко-голубыми точками шеелита. Руда найдена!

Голубое волшебно-люминесцирующее свечение — самая яркая особенность одного из основных минералов вольфрамовой руды — шеелита. Этот минерал имеет привычку прятаться среди похожих на него желтовато-розовых полевых шпатов и кварца. Шеелит отличается псевдооктаэдрической формой кристаллов, алмазным или жирным блеском. Кусок шеелитовой руды на ладони — тяжесть («тяжелый камень» называют в Англии тунгстит). Твердость шеелита меньше твердости кварца и полевых шпатов. Шеелит может быть вкрапленным в отдельных участках кварц-полевошпатовой породы, а может встречаться и в виде сплошных шеелитовых жил. Вместе с шеелитом (нередко вместо шеелита) растет второй главный минерал вольфрама — вольфрамит.

Столбчатые (и пластинчатые) кристаллы вольфрамита трудно спутать с другими минералами. Для вольфрамита (железо-марганцевой соли вольфрамовой кислоты) характерно переменное содержание железа и марганца: в разных месторождениях, в разных рудных телах, на разной глубине одного и того же рудного тела могут кристаллизоваться и внешне разные вольфрамиты от темно-коричневого до черного цвета. Некоторые разности слабо прозрачные. Вольфрамит, богатый железом, слабо магнитен.

Самое главное свойство — «колдовская» вредность вольфрама, который так легко, так коварно крадет олово из руды, — оказалось и уникальным «талантом» вольфрама. Вольфрам был одной из пер-

вых магических легирующих добавок к стали. На сегодня этих вольфрамовых сплавов по официальным источникам несколько тысяч! И результат — сверхскорость металлорежущих станков: скорость резания стали увеличилась в тысячу раз.

Сегодня нет света без вольфрама! В миллиардах самых различных ламп заключены тончайшие нити вольфрама — замечательного ковкого и прочного металла: самые тонкие проволочки (диаметр сотые микрона — в 50 раз тоньше человеческого волоса), катодные лампы, мощные дуговые прожекторы и, наконец, сверхвысокотемпературные печи без стенок — дуговые термовакуумные печи. Что удивительнее? Миниатюрный прокатный стан из новых сверхтвердых вольфрамовых сталей — прокатный стан-лилипут размером с чемодан или, может быть, тысячи километров самой тонкой проволоки, выжатые из 40 граммов металла? Или двигатель реактивного самолета: температура в камере сгорания более 1500°C — это режим работы металла вольфрама?

По своим термоустойчивым свойствам вольфрам близок к другим отверженным в средневековье металлам — никелю и кобальту.

«Дьявольские» металлы причиняли много неприятностей горнякам. Но металловеды XX века непременно называют **никель** и **кобальт** среди главнейших металлов современной техники. О Георге Брандте — первооткрывателе кобальта — Карл Линней сказал: «Король может потерять свою армию, — но не пройдет и года, как он получит новую. Король может потерять свой флот... Но другого Брандта королю не получить за все время пребывания на престоле».

Как связаны кобальт и никель в природных образованиях? Так ли они неразлучны в природе, как в легендах саксонских горняков или как в металлургии?

Из довольно большого числа (более трех десятков) минералов никеля и кобальта распространены не более пяти— шести: зритрин, пентландит, кобальтпирит, кобальтин. Обычно колчеданы слагают медно-никелевые руды в основных породах. В крупнейших скоплениях открыты для промышленного использования в качестве руд никеля и кобальта минералы коры выветривания зтих пород: гарниерит и ревдинскит.

В пентландите (железо-никелевом колчедане) в значительных ко-

личествах (от 0,4 до 2,5%) присутствует и кобальт. Пентландит похож на другие колчеданы (пирит, пирротин), его отличает лишь особое свойство совершенной спайности, только ему в этом семействе присущее. Бронзово-желтый цвет пентландита несколько светлее цвета пирротина.

Гарниерит (и ревдинскит) — новая руда этих двух металлов. Яркий яблочно-зеленый гарниерит образует хрупкие натечные конкреции; эти образования иногда выцветают, бледнеют, и тогда изменившийся по составу гарниерит можно узнать только по химическим анализам или другими специальными методами. Вместе с гарниеритом встречается ревдинскит — голубовато-зеленый, иногда темно-зеленый в чешуйчатых массах и порошковатых агрегатах.

Два главных минерала кобальта — кобальтин и эритрин — запоминаются своеобразным розовым цветом. Кобальтовые цветы (эритрин) — красивый темно-розовый минерал. Никелевые цветы (аннабергит) — лучистый минерал с характерной для солей никеля яблочно-зеленой окраской. Эритрин (гипергенный минерал) и сам является признаком близкого нахождения колчедана кобальта кобальтина (кобальтовый блеск). Кубики и октаэдры кристаллов кобальтина похожи на пирит; его серый тон напоминает по цвету удлиненные кристаллы арсенопирита, но ни у одного из сульфидов нет такого чуть розоватого, розовато-серого оттенка!

Основное применение кобальта (а частично и никеля) — улучшение магнитных свойств стали. Известен сверхмагнит (100 г сплава удерживают 20 000 г груза) — магнит без железа, кобальтовый магнит. Стеллиты («стелла» — звезда) — сплавы, в которых кобальт, хром и вольфрам также «вытеснили» железо. Это великолепные сверхтермостойкие, сверхупругие и сверхпрочные сплавы. Радиоактивный кобальт лучше редчайшего радия! Он применяется в борьбе против раковых опухолей: кобальтовые пушки — это мирные пушки, спасающие жизнь. И еще одно открытие роли кобальта: вещество сырой печени (витамин B_{12}), которое содержит 4% кобальта, спасает при злокачественном малокровии.

С древности известны кобальтовые краски. Египетская синяя кобальтовая краска встречена среди находок пирамид (секрет ее вскоре был утерян!) Прекрасно венецианское синее кобальтовое стекло. Оп-

тика и лакокрасочная промышленность — современные области, использующие волшебство красок кобальта.

Уникальное свойство никеля — его «музыкальность»: стерженек из никеля в переменном магнитном поле достаточной частоты становится источником ультразвука.

ОДИН ИЗ КИТОВ ВСЕЛЕННОЙ

Удивительно сложилась судьба самого распространенного на Земле металла — алюминия. В земной коре его почти в четыре раза больше, чем железа, в пятьдесят пять тысяч раз больше, чем свинца, и в сто миллионов раз больше, чем золота!

Алюминий, кремний и кислород — вот три кита, на которых стоит, а точнее, из которых состоит земная твердь. Полевой шпат, слюда да практически почти все породообразующие минералы — это кристаллические постройки на основе кремния и алюминия. А наши постройки, наши конструкции, созданные умом и руками человека? На один только двадцати-тридцатиэтажный небоскреб уходит не меньше 100 тонн алюминия — самого легкого из распространенных металлов и самого распространенного из легких. Алюминий — это от 2/3 до 3/4 каждого самолета и от 1/20 до 1/2 каждой ракеты.

А ведь всего сто лет тому назад алюминий стоил дороже золота. Алюминиевые пуговицы. Такую роскошь могли позволить себе лишь очень состоятельные вельможи, а алюминиевые ложки — их употребляли вместо «простых» серебряных только коронованные особы. В 1855 году на Всемирной выставке в Париже красовался слиток алюминия под гордым названием «серебро из глины». Это был первый слиток, полученный Сент-Клер Девилем.

В чем же секрет недоступного вездесущего алюминия? Как удалось ему столько тысячелетий таить от человека свое металлическое лицо, оборачиваясь то гранитным утесом, то глинистой тропинкой, то кроваво-красным рубином, а то попросту молочной крынкой? Разгадка — в геохимии и минералогии алюминия.

Характер этого элемента — полная противоположность золоту. Золото, как вы помните, ни за что не хотело соединяться ни с одним другим элементом (кроме «кровных родственников»), а алюминий,

наоборот, всегда накрепко связан с кислородом и разорвать эту связь — дело колоссальной трудности. Даже всесильная сера, которая жадно схватывает почти любой металл, образуя блестящие тяжелые сульфиды (вспомните хотя бы медь!), здесь беспомощна. И не встретим мы на Земле ни серебристого самородка алюминия, ни металловидного сульфида — их нет в природе!

А вот соединений алюминия с кислородом, а особенно с кислородом и кремнием — сотни. Очень богата алюминием обычная белая глина каолин, из которой делают посуду, да и любая бурая глина на одну треть состоит из алюминия, хотя в ее облике и свойствах ничего нет от металла. Многие из «благородных» минералов алюминия вам, вероятно, известны: кроваво-красный рубин и синий сапфир, винно-желтый топаз, нежно-розовая шпинель, голубой шестоватый кианит — это букет алюминийсодержащих «цветочков». А «ягодки»? Это, пожалуй, главная алюминиевая руда — боксит, похожая на ягоды, а еще больше на бобы или фасоль, но только не на металл! Боксит — не минерал. Это постоянная ассоциация нескольких тесно сросшихся минералов, главным образом гидроокислов алюминия — диаспора, бемита и гидраргиллита, образующих агрегат очень мелких, скрытокристаллических чешуек и зернышек.

Или вот еще один минерал алюминия — алунит. В качестве руды он используется совсем недавно, а в качестве сырья для квасцов, необходимых при протраве тканей перед крашением, при обработке кожи, это соединение известно с античных времен. По свидетельству Плиния Старшего, квасцы имели и «оборонное» значение: бревна крепостной стены, пропитанные растворами квасцов, делались огнестойкими. Алунит (водный сульфат калия и алюминия) изредка образует мелкие кубические кристаллики в пустотах измененных лав. Значительно чаще он представлен плотными землистыми или волокнистыми агрегатами светло-желтоватого или светло-красноватого цвета, напоминающими каолинит или белый боксит. Не больше «металлического» и в другом минерале алюминия — нефелине, похожем на смазанный жиром кварц. Металл не проглядывает ни в одном из минералов алюминия!

И все же научная интуиция позволила ученым Эрстеду и Вёлеру (1825—1827 годы) распознать в глине серебристый металл. Но их

методы позволили получить лишь крупинки металла. Трудно было предсказать его сегодняшнюю судьбу. Сенсационное открытие Сент-Клер Девиля, получившего слитки алюминия, мало что изменило. Ведь чтобы металл стал промышленным, надо уметь получать его тоннами.

Колоссальная трудность освоения алюминия на столетие отодвинула его широкое использование. Выплавить этот металл из руды, как медь или свинец, почти невозможно: бокситы плавятся при температуре около 2000°С, а сам алюминий, соединяясь с кислородом, «сгорает» уже при 900°С!

Как же быть? Нельзя ли разорвать атомы алюминия и кислорода еще как-нибудь, не плавкой? Какие силы держат их вместе? Электрические, конечно! Ведь частички алюминия заряжены положительно, а кислорода — отрицательно. Значит, и действовать на них надо электричеством! Такой метод называется электролизом. При электролизе расплавленного глинозема частички кислорода увлекают поток электронов, а частички алюминия притягивает электролизная ванна. Но и этот способ не давал возможности получить промышленные количества металла до тех пор, пока к бокситам не научились добавлять особый «плавень» — минерал криолит (фтористое соединение алюминия и натрия), сильно снижающий температуру плавления глинозема и увеличивающий электропроводность расплава.

Еще годы и годы ушли на поиски дюралюминия — сплава малопрочного алюминия с медью и магнием — надежного конструкционного металла.

Вот каким сложным оказался путь человека к алюминию. Встречаются на этом пути и такие пока неразгаданные «зигзаги». По свидетельству Плиния Старшего, чаша из легкого белого «серебра», полученного из глины, была преподнесена в дар римскому императору Тиберию. Император забеспокоился: не подорвет ли умение делать деньги прямо из глины мощь его государства? И на всякий случай приказал отрубить изобретателю голову, согласно закону «об оскорблении величия римского народа». Возможно, это легенда. Но вот, по данным современных археологов, неоднократно повторенный спектральный анализ светлого металла, образующего рельефный орнамент на гробнице китайского военачальника Чжоу-Чжу (III век н. э.),

показал, что он на 85% состоит из алюминия. Был ли известен древним секрет электролиза или они владели искусством скоростной плавки с очень точной дозировкой состава шихты, пока неизвестно, это лишь «знак» того, как сложны пути познания, подчас воскрешающего вечные, однажды забытые истины.

МЕТАЛЛЫ СЕГОДНЯШНЕГО ДНЯ

Для признания металла необходим его тесный союз с техникой. Но не у каждого металла судьба складывается так счастливо, как у алюминия: дав крылья авиации, он и сам поднялся на недоступные раньше высоты. Наивно было бы думать, что, как только ученый приносит в мир техники новый металл, конструкторы сразу находят применение его необыкновенным свойствам.

Тугоплавкий (температура плавления больше 3000°С), кислотоупорный и высокопрочный металл **тантал** был открыт в 1802 году (по признанию автора Экеберга, «с танталовыми муками»?!), а получен в чистом виде только спустя столетие. Более полувека «пылился» тантал на полочке «чистой науки», пока «сверхтехника» нашего времени не потребовала от материалов «сверхвозможностей». К примеру, сопла ракет и межпланетных кораблей выбрасывают раскаленные газы, температура которых достигает 3300°С! Для охлаждения их в полете применяются так называемые криогенные жидкости — вещества, основу которых составляют расплавленные щелочи; перепад температуры в процессе охлаждения составляет 1425°С. И все же нашлось вещество, способное стабильно работать и в этом аду, — карбид тантала.

В походе (а тем более в полете!) весит и иголка! А танталовые конденсаторы в радиоаппаратуре ракет и спутников имеют микроминиатюрные размеры. Цветной телевизор — достойный потребитель этого ультрасовременного металла на Земле. Тантал обнаруживает и еще одно необычное свойство: он сживается с тканями организма! Танталовыми нитями можно сшивать сухожилия, нервы, сосуды, на танталовую сетку наращивается живая мускульная ткань, из тантала моделируют кости черепа и позвоночника.

Во всех природных соединениях тантала вместе с ним присутствует и его «двойник» — ниобий. Виднейшие химики XIX века (Берцелиус, Экеберг и другие) около 40 лет колебались — имеют они дело с одним или с двумя элементами. Поэтому элемент периодической системы № 41 больше века имел два названия: колумбий, данное ему первооткрывателем Чарльзом Гатчеттом (минерал, содержащий колумбит, был привезен из Америки), и **ниобий**, полученное при втором рождении 43 года спустя от Генриха Розе, сумевшего убедить научный мир в существовании двух сходных, но самостоятельных элементов.

По идее Розе, название «ниобий» подчеркивало родственные отношения элемента с танталом, равно как и его горестную судьбу (в античной мифологии страдалица Ниобея, потерявшая в течение одного дня шестерых сыновей и шестерых дочерей, приходилась родной дочерью титану Танталу).

Лишь в 1950 году Международный союз чистой и прикладной химии утвердил за элементом название ниобий, оставив название колумбит за минералом, в котором он впервые был установлен.

Но трудная судьба ниобия не изменилась с его вторичным и окончательным рождением. Оказалось, что при всей близости свойств ниобий всегда несколько уступает своему более удачливому двойнику: температура его плавления высока (2460°C), но ниже, чем у тантала, устойчивость против агрессивных химических реагентов и биологических сред велика, но меньше, чем у тантала.

Нашлись, однако, и у ниобия преимущества перед танталом: в природе его почти в 10 раз больше, чем тантала, значит, он гораздо дешевле, а кроме того, он в два раза легче тантала. Теперь металлургия, которой тантал несколько «не по карману», применяет ниобий для легирующих добавок. Добавки ниобия придают стали не только антикоррозионные свойства, термостойкость, жаропрочность, но и улучшают ее сварочные свойства, что особенно ценно при изготовлении труб большого диаметра (для газопроводов). Медь с примесью ниобия становится тверже при высоких температурах, молибден, титан и цирконий также приобретают жаростойкость и жаропрочность. Сплавы олова и других металлов с ниобием является сверхпроводником.

Естественно, такой набор «личных» качеств вызывает интерес к этому металлу не только у металлургии, но и у таких современных отраслей, как авиация, ракетная и космическая техника, химическое машиностроение. Уникальное свойство ниобия — отсутствие заметного взаимодействия с ураном при температуре до 1100°С — позволяет использовать его в атомном машиностроении и в качестве защиты от радиации, а устойчивость к биосредам — в восстановительной хирургии.

Элементы-родственники тантал и ниобий неразлучны в природе — нет минералов тантала, не содержащих ниобий, как нет минералов ниобия, не имеющих хотя бы примеси тантала. Почти 90% всех известных минералов тантала и ниобия составляют тантало-ниобаты — сложные окислы тантала и ниобия. Черные, темно-коричневые, реже красновато-коричневые и бурые тантало-ниобаты характеризуются еще и специфическим смолистым блеском поверхности излома. Они отличаются также большей плотностью и накапливаются в россыпях. Чаще всего можно наблюдать их в виде мелких зерен, рассеянных в породе или группирующихся в виде нечетких слоев и линз.

Основными рудными минералами тантало-ниобатов являются лишь немногие*: колумбит (танталит) (рис. 43), пирохлор (микролит или гатчеттолит), воджинит и лопарит. Кристаллики тантало-ниобатов обычно очень мелки (1—2 миллиметра, а часто и десятые доли миллиметра). Пирохлор и его танталсодержащие родственники образуют октаэдры или реже кубы; для лопарита характерны взаимопрорастающие кубические кристаллы — «лопаритовые двойники»; колумбит и танталит образуют мелкие уплощенные призматические кристаллы с острой головкой, но в пегматитовых жилах встречаются сростки танталита до 5 и даже до 10—20 см.

Пристальное внимание к ниобию и танталу минералогов и геологов во всем мире, отмечающееся в последнее десятилетие, привело к уточнению доли этих элементов в земной коре. Кларк ниобия (процентное содержание в земной коре) увеличился с 1939 года почти в десять раз!

---

* В скобках даны танталовые разности.



Рис. **43**. *Кристалл танталита*

Если ниобий долго жил под двумя названиями, то **молибден** навеки остался под чужим именем! Металл молибден был назван по минералу молибдениту — это логично. Но сам-то молибденит назван так явно по недоразумению — слово «молибдос» означает по-гречески свинец! В древности так называли не только свинец, но и свинчак (мелкозернистую свинцовую руду, разновидность галенита), а заодно и сходные серые зернистые мажущиеся камни — графит и молибденит.

Надо сказать, что в кристаллах все три минерала резко отличаются: галенит образует блестящие темно-серые кубики; молибденит кристаллизуется в виде несовершенных шестигранных табличек, гибких и мягких под пальцами, их легко можно расщепить ногтем на тонкие листочки и на пальцах при этом остается голубовато-серый,

жирный на ощупь, порошок; графит же очень редко образует кристаллы. Но в мелкозернистом агрегате эти минералы очень похожи, и их путали не только античные и средневековые натуралисты и рудознатцы — до сих пор это «любимые» ошибки студентов.

Чтобы отличать эти минералы, нужен всего клочок бумаги. Галенит ее рвет (его твердость 2), а черта молибденита и графита отчетливо различаются по цвету. Свойство молибденита и графита хорошо чертить бумагу определило их специальность — в старину из них изготовляли карандаши. Молибденовых (так называемых свинцовых) голубовато-серых карандашей давно не делают. Пластичность молибденитовых чешуек используют при производстве высокотемпературных смазок (например, в деталях коробки передач в автомобилях).

Однако основная сфера деятельности молибдена — легирующие добавки к сталям. Близость кристаллической решетки железа и молибдена позволяет им образовывать твердые растворы, причем установлено, что даже незначительная добавка молибдена способствует медленному росту зерен стали в период кристаллизации металла, обеспечивая ему равномерную мелкозернистую структуру. Эта особенность молибденовой лигатуры дает великолепный эффект — с возрастанием твердости возрастает и вязкость металла. Недаром молибден долго называли «военным» металлом — броня танков и кораблей, стволы орудий, бронебойные снаряды — основные потребители молибденосодержащей стали. Только «военным» этот металл был задолго до появления танков и пушек — легендарные самурайские мечи, секрет которых хранился веками, содержали природную примесь молибдена.

В настоящее время основной потребитель молибденовых сталей — авиация. Жесткий каркас самолета состоит из металлических труб. При нынешних грандиозных размерах лайнеров требуются трубы значительного диаметра, но с малой толщиной стенок. Подобные трубы удалось сделать только из хромомолибденовой стали.

Серебристо-белый **цирконий** по праву может быть назван металлом атомного века. Одно из характерных свойств циркония — малое сечение поперечного захвата тепловых нейтронов — позволяет ему претендовать на роль конструкционного металла ядерных реакторов.

Жаропрочность (температура плавления 1860°С) в соединении с коррозионной устойчивостью подтверждают справедливость претензий циркония. Если бы не одно «но». В природных соединениях цирконий всегда сопровождает гафний, во многом похожий на него, кроме главного — отношения к нейтронам (поперечное сечение захвата нейтронов у гафния очень высокое). И достаточно цирконию иметь полуторапроцентную примесь гафния, как его конструктивные возможности ухудшатся в 20 раз!

Немало пришлось потрудиться химикам и металлургам, прежде чем в атомных реакторах появились циркониевые оболочки стержней и другие конструкционные детали. Коррозионная устойчивость позволяет использовать цирконий в химическом машиностроении или, например, для такой ответственной и деликатной детали, как наконечник фильера, тянущего нить ацетатного шелка — кислая среда в этом процессе сменяется щелочной; лишь «весьма благородные» металлы способны вынести такие перемены.

Еще одна важная область применения циркония — современная металлургия, требующая стойкости и прочности от стали не только на воздухе, но и в коррозионных средах, не только при высоких, но и при низких температурах. В этих случаях небольшая доза «витамина **Zr**» оказывает магическое действие От добавки циркония не отказываются и цветные металлы — магниевые сплавы с цинком и цирконием отличаются очень высокими механическими свойствами при малом удельном весе и используются самолетостроителями.

Открыт цирконий в 1789 году в драгоценном цейлонском цирконе. Первооткрыватель этого элемента Клайпрот. Великолепные прозрачные и ярко сверкающие цирконы славились еще в древности. Весьма ценился этот камень и в Азии — библейские первосвященники среди двенадцати священных камней носили золотисто-красный циркон гиацинт. В средние века европейским ювелирам был известен драгоценный камень «несовершенный алмаз» — желтоватый прозрачный самоцвет действительно «играл» почти, как алмаз, лишь много позже выяснилось, что «несовершенные» или «матарские» (Матара — район Шри Ланка) «алмазы» являются цирконами. Однако ювелирные цирконы — очень большая редкость.

Впрочем прозрачные и совершенные кристаллы часты даже в обычных гранитах, но, к сожалению, видны они только под микроскопом: эти «драгоценности» имеют размер десятые, а то и сотые доли миллиметра.

Мутноватые, прозрачные лишь в мелких осколках цирконы встречаются очень часто. Обычно они имеют изящный облик четырехгранной призмочки, завершенной с обоих концов пирамидами. Среди окрасок циркона преобладают красновато-коричневые или розовато-коричневые тона, иногда отмечаются сиренево-розовые, серо-голубые; в Японии описываются даже темно-зеленые и оливково-зеленые цирконы.

Минерал циркон подобно металлу цирконию отличается хорошими механическими и «антикоррозионными» свойствами и поэтому накапливается в россыпях. Россыпи — основной, почти единственный источник и второго, значительного более редкого минерала — бадделеита (двуокиси циркония). Но стоит поискать его — ведь это почти готовый для промышленного использования продукт. Многие отрасли промышленности могут употреблять двуокись циркония без переработки. Бадделеит в виде очень блестящих темно-бурых мелких и тонких призмочек извлекается и как ценная попутная примесь при разработке некоторых железорудных месторождений. Есть и другие еще более редкие минералы циркония. Может быть, в одной из уникальных минералогических кладовых—щелочных массивах Хибин— вам посчастливится найти янтарно-желтые лучистые агрегаты ловенита или мелкие золотистые призмочки велерита и уже наверняка — клюквенно-красные вкрапления эвдиалита — «лопарской крови».

Если танталу пришлось ждать своей судьбы полтораста лет, то **бериллий** терпел почти 5000 лет! Впрочем, как и в случае циркония, это касается именно металла, ибо соединения бериллия слава никогда не обходила. Пожалуй, нет такого второго элемента в периодической системе, который бы подарил людям столько самоцветов. Заглянем в золотую кладовую Эрмитажа: в залах скифского и причерноморского золота привычный глаз минералога сразу «выхватывает» естественные, граненные природой призмочки мелких изумрудов, нанизанных на витую золотую цепочку или подвешенных к золотой серьге. Знамениты по красоте изумруды Урала. С ними могут спорить

лишь густо-зеленые камни Южной Америки — любимый «зеленый лед» инков. Испанцы вместе с золотом ввезли в Европу и изумруды Колумбии. И, наверное, никто не выразил идею покорения Нового Света так изящно и убедительно, как испанский ювелир XVIII века, вырезавший бегущую под распущенными изумрудными парусами каравеллу из цельного колумбийского изумруда весом более 120 карат. А как красивы нежно-розовый воробьевит, гелиодор, словно налитый медом и солнцем, чуть голубой и прозрачный, похожий на море в граненом стакане, аквамарин, знаменитый александрит — зеленый при солнце и лилово-малиновый при свете лампы, загадочный эвклаз — в его кристаллах голубизна словно тает на глазах, водянопрозрачные фенакиты, «игрой» не уступающие бриллиантам.

И все же сегодня нас больше поражает уникальность свойств чистого бериллия. Вдвое более легкий, чем алюминий, но теплостойкий и прочный, как лучшие сорта сталей, бериллий нашел широкое применение в авиации и космической технике. Именно из бериллия были выполнены носовая часть корпуса и днище космического корабля «Френдшип-70». Свыше 1000 деталей современного самолета сделаны из бериллиевой бронзы, не знающей усталости (до 20 миллиардов циклов нагрузки выдерживают «вечные» пружины из бериллиевой бронзы!).

Атомные реакторы, одно из грозных чудес нашего века, — еще один из основных потребителей бериллия. Создание их стало возможным лишь после того, как человек научился управлять потоками частиц, извергающихся при сгорании ядерного топлива! И именно элемент бериллий оказался способным замедлить скорость тепловых нейтронов, отразить их и возвратить в активную зону реактора. Бериллий — один из необходимых элементов в атомной технике. Полностью оправдал сегодня бериллий надежды, возложенные на него замечательным минералогом и геохимиком, энтузиастом освоения минеральных богатств нашей Родины А. Е. Ферсманом. «Бериллий — один из самых замечательных элементов огромного теоретического и практического значения... Мы уже предвидим, что в помощь современным металлам авиации — алюминию и магнию — придет и бериллий.»

А как выглядят руды бериллия? Они содержат те же минералы —

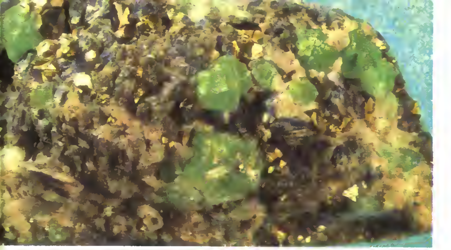


Рис. **44**. *Руда с бериллом*

берилл, фенакит, эвклаз, но не в виде драгоценных камней. Долгое время разрабатывались лишь пегматитовые жилы с крупными кристаллами берилла (рис. 44), нередко до тонны, а в «Занимательной геохимии» А. Е. Ферсмана приводится фотография восемнадцатитонного берилла. Но аппетиты современной техники нельзя удовлетворить только за счет этих гигантских уникумов. Как показывает сегодняшний опыт эксплуатации месторождений, вполне выгодны (как говорят рентабельны) и крупные по запасам и габаритам рудные тела с мелкой вкрапленностью. Они возникают в процессе пропитки гранитных массивов рудоносными растворами.

И те же минералы здесь выглядят иначе. Кристаллизация из более холодных и более щелочных растворов изменила габитус кристаллов: излюбленные формы выделения фенакита здесь — шарообразные лучистые солнышки и розетки в ассоциации с лиловым флюоритом и розовым полевым шпатом (рис. 45), а берилла — тонкая светлая вкрапленность в руде. Еще труднее для диагностики руды, содержащие минералы прежде необычайно редкие — бертрандит, эвклаз, гентгельвин. Тут на помощь приходит «современное» поведение



Рис. **45**. *Розетка фенакита в берилловой руде*

бериллиевых минералов: при поисках бериллиевых руд специальный прибор направляет на породу искусственное радиоактивное облучение и минералы бериллия сразу дают о себе знать, излучая пучок нейтронов.

Среди металлов сегодняшнего дня особое место занимает весьма своеобразный металл — **литий.** «Незаурядные» качества выдвигают его на первые призовые места среди металлов: литий первый по легкости — он в пять раз легче алюминия и в пятнадцать раз легче железа; первый по удельной теплоемкости, первый в ряду напряжения металлов, хотя на вид довольно обычный — серебристо-белый с ярким блеском, правда, очень мягкий (режется ножом!). Увидеть подлинный облик лития можно только в вакууме: на воздухе литий активно соединяется с азотом и кислородом и покрывается белой пленкой.

Естественно, уникальные свойства лития и его положение в периодической системе Менделеева влияют и на облик его природных соединений. Тут литий держит еще одно первенство, как самый литофильный элемент. Когда знаменитому шведскому химику Иенсу Якобу Берцелиусу молодой Арфведсон показал новый щелочной



Рис. **46**. *Сподумен — кунцит*

элемент, только что полученный из белого, похожего на полевой шпат камня, Берцелиус предложил назвать новую щелочь литионом. Со временем это имя трансформировалось в более короткое и современное — литий. Берцелиус очень точно угадал каменную душу элемента: большинство минералов лития — аналоги самых распространенных породообразующих минералов; среди них пироксен и амфибол, слюды и хлориты; структура этих минералов аналогична структуре их породообразующих аналогов, но только роль железа в них играет литий. Основной рудный минерал лития — пироксен сподумен (рис. 46). Сростки светло-серого, розоватого, а иногда зеленоватого или серо-желтого пироксена напоминают свалы досок — кристаллы в них плоские, часто сужаются к одному концу и обычно неровно, как щепки, обломаны в торце. Да и по размеру они часто не уступают доскам, а бывают и больше. Со сподуменом в пегматитах часто соседствует тот самый изученный Арфведсоном петалит, напоминающий полевой шпат не только внешним видом, но и структурой, и сиреневая слюда лития лепидолит, и тяжелый белый или светло-серый фосфат лития — амблигонит, образующий в пегматите крупные гнезда с темно-серой оторочкой.

Мы знаем двадцать пять минералов лития, но промышленность использует пока только пять из них: прежде всего сподумен и лепидолит, а иногда петалит, амблигонит и тонкочешуйчатую темно-серую литиевую слюду — циннвальдит. Литий добывается также из природных рассолов — рапы соляных озер (попутно с солями натрия и магния). Характерно, что активный, энергичный литий не довольствуется своими двадцатью пятью минералами и при первой возможности забирается в кристаллические решетки таких породообразующих минералов, как полевые шпаты, пироксены и прежде всего слюды, вытесняя калий и натрий.

Уникальность свойств лития открывает возможность его применения в весьма специфических условиях. Известно, что при соединении ядер тяжелых изотопов водорода — дейтерия и трития — высвобождается колоссальная энергия. Эта термоядерная реакция лежит в основе водородной бомбы. Реакция проходит при температуре 50 миллионов градусов и в жидкой среде. Вещество, жидкое при такой температуре, — это дейтерид лития-6. Кроме того изотоп лития — литий-6 является единственным промышленным источником второго компонента реакции — самого дефицитного изотопа водорода — трития (бомбардировка лития-6 нейтронами приводит к возникновению трития и инертного газа гелия). Так в реакции термоядерного синтеза литий-6 играет «первую скрипку».

Много лет ученые во всем мире работают над тем, чтобы сделать эту реакцию управляемой. Решение данной проблемы позволило бы покончить с энергетическим кризисом. Пока же работу разного рода выполняет второй их значительно более распространенный изотоп лития — литий-7. Литий может служить прекрасным теплоносителем в мирных ядерных реакторах, большая разница между температурой плавления и кипения позволяет литию оставаться жидкостью в очень широком диапазоне температур.

И еще одна весьма современная способность: необычайно высокая теплотворная способность открывает перспективы использования лития как ракетного топлива на сверхдальних космических трассах.

А нет ли у лития более земной, повседневной работы? Есть. Высокая реакционная способность, сродство к водороду, азоту, кислороду

позволяют литию проявить прекрасные способности дегазатора и раскислителя черных и цветных металлов. Сплав свинца с литием — банметалл, изобретенный взамен более дефицитного олова, служит хорошим антифрикционным материалом; алюминию литий придает повышенные антикоррозионные и механические свойства, а сверхлегкий, плавающий на воде, сплав лития с магнием — мечта авиаконструктора.

Интересные области применения находят неметаллические соединения лития. Современная химия разработала колоссальный спектр различных полимеров, подчас не уступающих, а часто превосходящих по свойствам такие традиционные материалы, как сталь, латунь, стекло. Но разрешить проблему соединения этих материалов с металлами и между собой — задача сложная. «Ядерным клеем» здесь служат соединения лития.

Гидрид лития — белое кристаллическое вещество — спас жизнь многим морякам и летчикам, потерпевшим аварию в море. Количество водорода, вырабатываемого этим соединением, столь велико, что одна-две таблетки при соединении с водой мгновенно наполняют газом плавучие средства — спасательные жилеты, плотики, сигнальные шары.

Органические соединения лития типа стеарита составляют основу смазочных материалов, уверенно работающих на морозе при температуре минус 60°С и на жаре при плюс 160°С! Идеальная смазка вездеходов, бороздящих Арктику, Африку и Антарктику! Не обходится без лития и современная астрономия — линзы из монокристалла фтористого лития прозрачны не только для лучей видимого спектра, но и для ультрафиолетовых лучей. А нас литий радует каждый праздник, когда вечернее небо расцветает огнями салюта: яркие сине-зеленые звездочки — огни сгорающих солей лития.

Золотисто-солнечный полужидкий металл **цезий**, живущий обычно в запаянных стеклянных капсулах, тоже мог бы лидировать в группе редких металлов, но совсем в других областях. Это первый элемент, открытый путем спектрального анализа. Собственно и свое название он получил по небесно-голубому цвету характерных для него спектральных линий («цезиум» — небесно-голубой).

Цезий — второй по легкоплавкости после ртути (его температура

плавления 28,5°С). Но главную роль в его судьбе играет слишком большой атомный радиус, не позволяющий ему занять место в кристаллических решетках минералов, поэтому цезий — рекордсмен по малочисленности природных соединений. Если литий образует 25 минералов, цирконий — около 30, бериллий — 43, а ниобий и тантал — около 90, то цезий концентрируется почти исключительно в одном алюмосиликате — поллуците, рыхлый каркас которого выдерживает его «громоздкие» ионы. Этот полупрозрачный или молочно-белый минерал чрезвычайно похож на кварц, на белый полевой шпат, а еще больше — на бесцветный берилл, и отличить его можно разве по обилию трещинок, по специфическим тонким серо-сиреневым прожилкам да по характерному искрящемуся блеску. Вместе со сподуменом, петалитом и лепидолитом поллуцит встречается в литиевых пегматитах, образуя угловатые глыбы — блоки между другими минералами. Плохо образованные кубические кристаллы были встречены только в пустотках пегматитов на острове Эльба, где они росли вместе с призматическими, тоже полупрозрачными и бесцветными кристаллами касторита.

Главное свойство элемента цезия, создающее ему имя в современной технике, — необычайно чуткая реакция на свет, в том числе на инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Потребности техники в цезии так стремительно растут из года в год, что геологи опасаются — сможет ли один поллуцит удовлетворить их.

Конечно, мы не можем рассмотреть все металлы и их минералы. Но уже беглый экскурс в мир «камней, рождающих металлы» — от первого кремня до руд тантала, бериллия, цезия, — поражает воображение богатством земных недр.

Ну, а как же наш первый камень — прапредок всех руд? Неужели его место в музее в залах палеолита и неолита? Нет! Основа кремня — чистый кремний («чистый» — это значит, что на его 999 999 атомов может быть только один «чужой» атом!). Он прекрасный полупроводник, незаменимый в электронике. А «нечистый» кремний? Это — оконное стекло в вашем доме, бетон новостроек и, конечно, прекрасные самоцветы — лиловый аметист, дымчатый раухтопаз, горный хрусталь, прихотливо мерцающий опал и все халцедоны, агаты, яшмы и кремни самых невероятных цветов и оттенков.

8*

ПРОСТО КРАСКИ

Белый круг был знаком жизни,
Черный круг был знаком смерти.

Г. ЛОНГФЕЛЛО

Кто из древних мастеров не пользовался с крайней бережливостью... как медикаментом, хотя бы суриком? А теперь им покрывают сплошь да рядом, где придется, стены целиком.

ВИТРУВИЙ

Страницы этой книги приоткрыли перед вами, может быть несколько неожиданно, не только пленительную, сверкающую грань камня как самоцвета, но и другую, не менее важную — камня как руды, как металла. Металл каменного, бронзового, нашего, все еще в основном железного, века — гулкий пульс человечества... Мы вошли в природу и физиками и лириками. Доказательство беспочвенности их спора о приоритете (сейчас почти забытого) можно проследить через всю историю — по стенам жилищ и храмов, по коврам и вазам, по холстам великих живописцев и даже по лицам и телам наших предков. Ведь из тех же минералов железа, меди, марганца, цинка, никеля, из которых добывали металлы и изготавливали металлические вещи, за тысячи лет до эры металлов готовили и первые краски. Быть может, именно краски расшевелили в человеке творческое начало.

Магией минеральных красок неповторимо окрашены горы и долы нашей планеты. Вишнево-красные, шоколадные, золотисто-охристые, палевые глины в оврагах и обрывистых бортах долин Русской равнины, сине-зеленые малахитовые сопки и зеленые залысинки-высыпки на склонах гор Урала и Средней Азии или ослепительно белые большие и малые карьеры мела на Украине. Большинство минералов-пигментов потому и открыты человеком, потому и попали в краску, что либо они красят самые верхние слои Земли, либо присутствуют в них, выделяясь своей яркостью.

Как же красят земли-краски? Как они называются? Сколько их на Земле и во владении человека? Краски, когда мы говорим о минералах, правильнее называть непоэтичным словом — пигменты. Имен-

но пигмент — красящая часть, без которой нет краски. Кроме пигмента в краске обязательно присутствует связующее вещество — вода, эмульсия, масло. У красок с таинственными названиями сиена, умбра*, мумия — основные носители цвета чаще всего самые обычные: окислы и гидроокислы железа или марганца, реже хрома, иногда минералы — соли меди или железа; они дают широчайшую гамму колеров — красных, коричневых, желтых, белых, фиолетовых, серых, зеленых.

Минеральный пигмент, как правило, не один минерал, а целое сообщество минералов — порода. Основной цвет их разбавлен минералами глин (каолинит, иллит, хлориты), бокситов, кварца (кварц, халцедон, опал) или карбонатными минералами (кальцит, анкерит, доломит). Чаще всего минеральный пигмент содержит несколько породообразующих минералов: карбонатных и глинистых: «бокситных» и глинистых. Названия красок отражают породообразующую часть пигмента и цвет: вишнево-красная глинистая, серая бокситовая, желтая карбонатная и прочие. Физическая природа минералов-пигментов обусловливает два наиболее замечательных свойства этой разнородной группы минералов, связанные с природой их атомов. Первое свойство — все минералы-пигменты потому и могут быть пигментами красок, что способны распространять свои цвета благодаря свойству легко и тонко дробиться, сохраняя в мельчайших частицах цвет пигмента, благодаря непрочным, типа слоистых (или родственных таковым) структурам их кристаллов.

С древних времен краски часто называли землями: красная земля, желтая земля. И действительно, краски-земли отличаются землистым сложением частиц породы, землистой, как у почвы, текстурой. Нередко такой пигмент прокрашивает самый верхний почвенно-растительный слой — «землю». И пожалуй, их больше всего на Земле. Одной из первых была **красная** краска пещерных росписей (предполагают, что она была кроваво-красная не только по цвету пигмента — в растворитель ее добавлялась кровь животных).

Красной землей раскрашены (засыпаны) древнейшие захоронения на территории нашей страны (Маркина Гора). Красный, кроваво-

* Эти иазваиия красок связаиы с их родииой: Умбрия, Сиеиа — райоиы Италии

красный цвет придает краске минерал гематит. Его может быть в пигменте до 80%, но красящие способности и стойкость у этого пигмента очень хорошие, и даже при его сравнительно небольших количествах (20—30%) получаются сочные стойкие краски. А если у пигмента лиловато- или коричневато-красный оттенок, не обошлось без других хромофоров: минералов марганца (вада, пиролюзита) или органических коричневых смол, углистых пород или других гидроокислов железа, например охристого палевого или желтого лимонита.

Другой древний красный минеральный пигмент — киноварь — любимейшая краска древнего Китая; у философов даосистов* киноварь считалась философским камнем. Одним из иероглифических знаков слова «живопись» было «киноварь и лазурь». Недавно микрохимическим анализом киноварь установлена и в пещерных росписях неолита.

Два основных красных минерала-пигмента гематит и киноварь имели совершенно различную минеральную историю. Железо гематита было собрано водой рек или моря из береговых пород (а может быть, принесено подводными вулканами). При благоприятных условиях (температуре, кислотности—щелочности среды) это железо выпало в осадок вместе с глинистыми (или карбонатными) минералами в огромных морских (прибрежных) и болотных бассейнах (подобные процессы происходят и сейчас в водоемах больших болот и лагунных бассейнах). Со временем древние породы уплотнились и стали полосчатыми и сланцеватыми, а минеральные пигменты в них обособились в виде отдельных прослойков, обогащенных железом.

Киноварь бывает только гидротермального происхождения. В одном месторождении с киноварью нередко встречается ярко-оранжевый минерал мышьяка — реальгар — **оранжевый** пигмент древних живописцев. При термической обработке в стеклах этот пигмент приобретал красный цвет, который, как предполагает Аль-Бируни, сохранился в древних искусственных рубинах. Химический собрат реальгара минерал мышьяка аурипигмент — **золотисто-желтый**. Это краска трагической Помпеи, краска фресок дворцов и жилых домов

* Даосизм одна из основных школ древнекитайской философии.

Помпеи. Аурипигмент и реальгар не случайны в красках города, выросшего на склоне вулкана Везувия. Нередко происхождение этих минералов бывает вулканогенным — из рудоносных растворов вулканов. Какая ирония судьбы: вулкан выбросил однажды минералы-пигменты в дар человеку, чтобы потом похоронить вместе со всем городом под мощным слоем пепла.

Среди **желтых** минеральных пигментов есть большие группы разнообразных по оттенкам и названиям, но однотипных по составу: желтые — охристые и коричневые пигменты, сиены, умбры, охры и еще несколько десятков названий пигментов обязаны своим цветом лимониту, марганцевым минералам, углистым породам. Используется для получения желтых красок еще один минерал — ярозит, такой яркий, что, видимо, получил название в честь древнего славянского слова «ярь» — краска.

Необычен для красок солнечный **золотой** цвет минерального пигмента-золота. Его открыли для себя мастера фресок, икон и миниатюр, художники древнего мира и средних веков. Порошок или тонкие полоски золота скреплялись специальными клеями. Мастера знали цену золотого пигмента: в китайских текстах, например, можно прочитать тщательную инструкцию по изготовлению золотой краски, предупреждающую, что следует позаботиться, чтобы золото не растащили мухи и чтобы оно не попало под длинные ногти мастера. Известны и латунные заменители порошка золота в красках. Интересно, что предки антикоррозионных красок, амальгамы золота, наносившиеся на металлы, были известны также с глубокой древности.

Наша Земля с космических высот выглядит совсем голубой, однако **синими** минералами-пигментами она не богата. Лазуритовая лазурь или минерал-пигмент лазурит (ляпис-лазурь) — драгоценный и священный камень древности и средневековья (вспомните священных египетских жуков-скарабеев из лазурита) — испокон веков был дороже золота. Из афганских копей через Бухару и Самарканд привозили лазурит в Великий Новгород, где поутру открывались в москательном ряду тридцать две красильные лавки. В Новгороде афганскую чудо-краску по цене золота — вес на вес (что, по сказанию, обрадовало казначея дешевизною!) — получил для своего последнего творения фресок Ферапонтова монастыря в Приозерье живописец Диони-

сий. Всю остальную магическую силу глубоких и спокойных красно-коричневых, золотисто-охристых, серых и фиолетовых колеров щедро подарили мастеру природные краски гор и рек Приозерья.

Минерал заоблачных памирских высот лазурит потому так редок и дорог, что возникает он в небольших оторочках на контакте гранитных пегматитовых жил и мраморов. Лазурит нельзя спутать ни с каким другим минералом: густая ровная бархатная (почти без блеска) синева лазурита пронизывает белоснежный мрамор, расплываясь капризными пятнами и неровными прожилками. Внутри этих четко вырисованных рваных контуров остаются бесчисленные мелкие белые островки мрамора. Но лазурит самого высшего сорта лишен этих дефектов, ему позволительно включать лишь золотистые звездочки пирита.

Специальная коллекция лазуритов составляет гордость музея Московского геологоразведочного института. Здесь рядом с ровным васильково-синим афганским лазуритом (из лучшего в мире месторождения, вот уже несколько сот лет составляющего личную собственность афганских эмиров) можно видеть штуфы этого минерала редких для него оттенков — лиловато-синего или зеленовато-синего; в коллекции есть даже плохо образованные кристаллы кубического габитуса — большая минералогическая редкость.

Азурит (рис. 47) — минерал-пигмент краски азуритовая лазурь или киприйская горная синь. Этот пигмент в природе встречается чаще лазурита — по составу он почти двойник малахита, лишь количество меди в нем несколько увеличено. Несравнимо чаще, чем лазурит и даже чем малахит, азурит образует кристаллы темно-темно-синие, подчас иссиня-черные; короткие столбики или толстые таблички с сильным, почти алмазным блеском. На гранях этих кристаллов можно видеть словно растекшиеся пятна малахита. Сочетание блестящего темно-синего цвета с ярко-зеленым придает им отчетливое сходство с павлиньими перьями. Но древняя азуритовая лазурь страдает и древней «болезнью». Если в залах Эрмитажа вы увидите, что на картинах старинных итальянских мастеров небо слишком зеленое, это не ошибка мастера, а одна из особенностей минералогии меди: синий азурит со временем превращается в малахит, прямо на полотне художника.



Рис. **47**. *Азурит*

Молодой синий пигмент (открытый для красок в XX веке) минерал вивианит — соль фосфорной кислоты; хромофором в нем служит тоже железо. Краска довольно капризна; она весьма неравномерно меняет свой цвет и способность приобретать зеленоватый оттенок с изменением тонкости помола пигмента. В природе вивианит известен как один из самых молодых минералов современных болотных отложений.

Синий азурит — непременный спутник более распространенного **зеленого** малахита (рис. 48). Мы знаем три малахита: чарующий поделочный камень — один из прекраснейших уральских самоцветов (вошедший в уральский фольклор и славную книгу сказов П. Бажова); малахит — древнейшая медная руда, найденная около первых печей загадочного народа чудь; малахит — разновидность с землистой

текстурой, которая пользуется признанием как краска фресок со времени древнего царства Египта.

Кроме малахита в истории красок известны еще несколько зеленых минералов-пигментов. Лучшие из них — волконскоит и глауконит (пигмент «веронской зелени»); они из самого большого класса минералов — силикатов; ионы-красители в них хром и железо. Более ценный волконскоит не уступает по красоте зеленого цвета старинной знаменитой «веронской зелени». Хром окрашивает этот мягкий глинистый минерал в глубокий, спокойный и стойкий цвет оттенка дубовой листвы. Тонкая глиноподобная текстура минерала превращает его в отличный пигмент красок. У этой превосходной краски только один недостаток — ее месторождения уникальны. Лишь в Приуралье имеются скопления волконскоита, достаточные для эксплуатации. Уральский волконскоит был одной из самых любимых красок Пабло Пикассо.

Белые и черные (всех оттенков) минеральные пигменты по прихоти природы роднит их общее органическое происхождение — из окаменевших животных и растительных организмов. Мел — порода, сложенная тончайшими обломками (мукой) известняка-ракушечника. Мел — не только белый пигмент, но и составная часть многих красок. Это также грунт — побелка под фреску. В античной фреске в верхний слой побелки, на который наносится фреска, подмешан тонкоистолченный мрамор. Можно вспомнить, что пигмент мел в язычестве и христианстве вошел в обряд очищения, духовной чистоты; в древних захоронениях найдены кусочки мела на алтаре сарматских женщин — амазонок. Таблетка мела — принадлежность обряда причастия католической церкви.

Довольно редкая белая краска — белая глина (каолин). Она известна также с каменного века.

В Китае в древности кроме мела применялся другой белый пигмент — перламутр; это минерал-пигмент тоже органического происхождения.

Широко известны искусственные белые пигменты, полученные из минералов: из галенита еще в древности изготовлялась весьма ядовитая краска («белая смерть») свинцовые белила; позднее из минералов цинка — цинковые белила (или «философская шерсть!»),



Рис. **48**. *Малахит*

и в наше время из минералов титана научились приготовлять безвредные (даже в наполнителе губной помады!) титановые белила.

Серые и черные пигменты, за исключением редкого пигмента железной слюдки (гематита), обязаны своим цветом обугленным растительным остаткам углесодержащих пород или реже графита (из метаморфизованных углей). А многокрасочность рожденных из угля пигментов? Это «обыкновенное волшебство» синтеза, краски XX века. Вот примерный ряд реакции, впервые предложенной Н. Н. Зининым.

Каменный уголь ⟶ Бензол

↓ ↓ ↓

Нафталин Антрацен Нитробензол ⟶ Анилиновые красители

Однако синтез не лишил работы природные естественные пигменты, достаточно взглянуть на их не полный перечень.

Белые природные пигменты: 1) мел (применяется в малярном деле как разбавитель цветных колеров); 2) барит (краски-покрытия, защитные от радиации; светящиеся радиоактивные краски); 3) перламутр (древняя краска китайской живописи).

Красные природные пигменты: 1) глинистая красная (обои, бумага); 2) мумия глинистая; 3) мумия железистая (хорошая антикоррозионная краска, применяющаяся на транспорте); 4) мумия бокситовая (строительная и художественная техника); 5) сиена жженая, сурик (применяются во всех отраслях промышленности); 6) киноварь (древняя краска художественной техники).

Желтые и золотистые природные пигменты: 1) глинистая желтая (обойное производство, клеенка, линолеум); 2) карбонатная желтая (строительная техника, фрески, силикатная живопись); 3) охры — глинистая, железоокисная, карбонатная (там же, где мел и карбонатная желтая); 4) сиена (полиграфия, литография, художественная техника); 5) ярозит желтый (строительная техника, бумажное производство, художественная техника); 6) аурипигмент, реальгар (древние краски художественной техники); 7) золото (иконопись).

Зеленые природные пигменты: 1) малахит, 2) волконскоит, 3) глауконит, 4) гарниерит (художественная техника).

Синие природные пигменты: 1) лазурит; 2) азурит (только в художественной технике); 3) вивианит.

Коричневые природные пигменты: 1) умбра натуральная (литография, цветная печать); 2) марганцевая коричневая (строительная техника); 3) кассельская коричневая (полиграфия, художественная техника).

Серые природные пигменты: серая глинистая (строительная техника).

Черные природные пигменты: 1) черная глинистая (строительная техника); 2) сажа природная (литография); 3) марганцевая черная (художественная техника, строительная техника); 4) графит (художественная техника).

СЧАСТЛИВЫХ НАХОДОК!

В этой небольшой книжке о камне сказано очень немного, ведь цель ее — лишь пробудить интерес к камню. Возможно, некоторых из вас давно влекло к камню и вы относитесь к нему с любовью.

Любовь к камню объединяет людей самых различных профессий, склонностей, возрастов. Более того, язык казалось бы сухих минералогических названий, единый во всем мире, объединяет минералогов всех стран. Ведь за каждым минералогическим термином встает яркий, запоминающийся облик минерала. Людей, причастных к камню, объединяет еще одно чувство (им проникается каждый, кого влекут к себе минералы!) — ощущение уникальности, неповторимости этих прекрасных созданий природы.

Очень медленно растут деревья, но на наших глазах может вырасти фруктовый сад или сосновый бор. Еще труднее сохранить от вымирания исчезающих животных, но и здесь ученые могут добиться успеха. Но разбитые, уничтоженные кристаллы не восполнимы! Их возникновение — результат сложных процессов в земной коре, и сочетание условий, способствовавших их зарождению, может не повториться никогда. Рост минерала обычно не соизмерим с годами нашей жизни. Об этом забывать нельзя!

Тем, кто решился серьезно собирать минералы, прежде всего нужно подумать, какую коллекцию вы хотите собрать. Можно, конечно, раскладывать по полочкам просто красивые кристаллики, но интереснее, если в вашей работе будет заложена какая-то идея: скажем, вы будете собирать минералы и породы родного края, или другого места, где проходит ваш маршрут; можно составить коллекцию металлических руд, строительных и облицовочных или поделочных камней.

Чтобы ваша маленькая экспедиция прошла плодотворно, нужно подготовиться к ней заранее. В первую очередь следует познакомиться с описанием района, где пройдет ваш маршрут, с породами и минералами, которые могут вам встретиться — для этого перед выездом очень полезно посетить музей и по музейной коллекции постараться запомнить облик ожидаемых минералов.

Тщательно следует подготовить и снаряжение. Очень подробно и заботливо рассказал о подготовке и проведении любительских минералогических экскурсий один из старейших минералогов-коллекционеров В. И. Соболевский в своей книге «Замечательные минералы». Прежде чем выбивать образцы из породы, нужно внимательно рас-

смотреть и зарисовать их расположение в жиле, пустотке или пласте. Для определения положения геологических тел в пространстве вам необходим горный компас. Далее вам пригодится геологический молоток с длинной рукоятью — образцы твердых и прочных пород откалывают тупым концом, а острым берут образцы мягких или трещиноватых пород. Маленькие кусочки удобно отбивать небольшим молоточком (50—100 г).

Совершенно необходимо увеличительное стекло: при увеличении в 7—10 раз лупа позволяет хорошо разглядеть мелкие зерна, составляющие горную породу. Не забудьте взять эталоны твердости: медную иголку, перочинный нож или стальную иглу, стекло. Кусочек неглазурованного фарфора позволит увидеть цвет черты минерала. Желательно иметь разбавленную соляную кислоту.

Чтобы собранные вами образцы не превратились в так называемые собакиты — неведомые кусочки неведомых пород, — необходимо выполнить еще два условия. Номера образцов, место их находки, очень коротенькое описание облика минерала и предполагаемое название следует занести в специальную записную книжку. Этот же номер поставить на кусочке лейкопластыря и наклеить его на образец, а также на маленькой бумажной этикетке, которая завертывается вместе с образцом. Очень важно и второе условие — тщательно упаковать образцы. Нельзя заворачивать в одну бумагу несколько образцов — из-за небрежности в упаковке может погибнуть прекрасно собранный материал! Для перевозки мелких кристалликов можно использовать пробирки, пузырьки, коробочки.

Итак, вы тщательно собрали и приготовили все снаряжение вашей маленькой экспедиции. Счастливых находок! Но помните! Земные недра не беспредельная неисчерпаемая кладовая. Каждый кристалл, каждая друза — это уникальное, единственное в своем роде произведение щедрого мастера — Природы!

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бан Ч. Кристаллы. Их роль в природе и науке. М., «Мир», 1970, 311 с.

Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Госгеолиздат, 1950, 928 с.

Венецкий С. И. Рассказы о металлах. М., «Металлургия», 1970, 287 с.

Владимиров А. В., Осипов Н. Ф. Магия цвета. М., «Знание», 1965, 270 с.

Здорик Т. Б., Матиас В. В., Тимофеев И. Н., Фельдман Л. Г. Минералы и горные породы СССР. М., «Мысль», 1970, 437 с.

Лазаренко Е. К. Курс минералогии, т. 1, 11. Изд-во Львовского университета, 1959, 664 с.

Лебединский В. И. В удивительном мире камня. М., «Недра», 1973, 195 с.

Лебединский В. И., Кириченко Л. П. Камень и человек. М., «Наука», 1974, 215 с.

Максимов М. М. Истоки учения о рудных месторождениях. М., «Недра», 1973, 142 с.

Мезенин Н. А. Занимательно о железе. М., «Металлургия», 1972, 196 с.

Популярная библиотека химических элементов. М., «Наука», 1971—1973 гг. (т. 1 — 357 с., т. 2 — 318 с., т. 3 — 246 с.).

Савицкий Е. М., Клячко В. С. Металлы космической эры. М., «Советская Россия», 1972, 188 с.

Соболевский В. И. Замечательные минералы. М., «Просвещение», 1971, 182 с.

Толстихина К. И. Природные минеральные пигменты Советского Союза, их обогащение и применение. М., Госгеолтехиздат, 1963, 363 с.

Ферсман А. Е. Рассказы о самоцветах. М., «Наука», 1974, 78 с.

Ферсман А. Е. Занимательная геохимия. М — Л, «Детгиз», 1954, 486 с.

Ферсман А. Е. Занимательная минералогия. М., Изд-во АН СССР, 1959, 238 с.

Ферсман А. Е. Очерки по геохимии и минералогии. М., Изд-во АН СССР, 1958, 199 с.

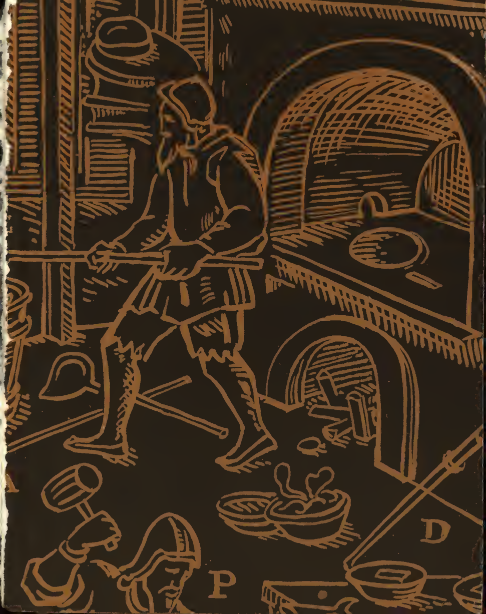
Черных Е. Н. Металл — человек — время. М., «Наука», 1972, 208 с.

Шаскольская М. П. Кристаллы. Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1956, 228 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ЗНАКОМСТВО, НАЧАВШЕЕСЯ В ПАЛЕОЛИТЕ

«МИНЕРА» — КАМЕНЬ, РОЖДАЮЩИЙ МЕТАЛЛ


D
P

51 коп.

НЕДРА

